

Antti Kalliainen  
Pirjo Kuula  
Minna Leppänen

# Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus

Vuoden 2017 tutkimukset





Antti Kalliainen, Pirjo Kuula, Minna Leppänen

# Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus

Vuoden 2017 tutkimukset

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2018

Liikennevirasto

Helsinki 2018

*Kannen kuvat: Antti Kalliainen*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-585-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Antti Kalliainen, Pirjo Kuula ja Minna Leppänen: Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosyntettitutkimus – Vuoden 2017 tutkimukset.** Liikennevirasto, tekniikka- ja ympäristöosasto. Helsinki 2018. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2018. 102 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-585-3.

**Avainsanat:** kiviaines, *rakeisuus*, lujuus, näytteenotto, CE-merkintä, bentoniitti, laadunhallinta, pohjavesi

## Tiivistelmä

Tutkimus on jatkoa vuonna 2014 käynnistetyille väylärakenteiden valtakunnalliselle selvitykselle, jossa tarkastellaan tie- ja ratarakenteissa käytettävien kiviainesten ja geosyntettilisten materiaalien ominaisuuksia ja laatudokumentteja. Edellisten tutkimusvaiheiden tulokset on raportoitu Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä -sarjassa:

- 18/2016, saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- 22/2017, saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>.

Vuonna 2017 selvitettiin tierakenteiden osalta päällystekiviainesten ja soratien kulutuskerrosmurskeen ominaisuuksia. Ratarakenteiden osalta selvitettiin raidesepelin ja alusrakennemateriaalien ominaisuuksia. Valitut hankkeet on pyritty valitsemaan valtakunnallisesti siten, että tutkimuksesta saatiin myös alueellisesti mahdollisimman kattava. Kiviainesten lisäksi tutkittiin väylähankkeissa käytettyjä geolujitteita ja maanteiden pohjavedensuojaushankkeissa käytettyjä bentoniittimattoja ja ohutmuoveja.

Vuonna 2017 on tutkittu 14 päällystekiviainesta. Poikkeamia havaittiin kahdessa kohteessa. Päällystekiviainesten laatu on sekä kuulamyly- että litteyslukutulosten perusteella parantunut merkittävästi vuodesta 2016. Ylläpitourakoissa vuonna 2017 käytössä olleet päällystekiviainesten arvostelukriteerit olivat erittäin tiukat, koska yksittäisiäkään kuulamylytulosten poikkeamia ei sallittu. Vaikka testitulokset ovatkin aikaisempaa parempia, oli tuotannon aikaisten laadunvalvontatulosten toimittamisessa edelleen haasteita.

Soratien kulutuskerrosmateriaalitutkimusta jatkettiin tutkimalla merkittävä määrä sorastuksen jälkeen tien pinnasta otettuja näytteitä. Tulosten perusteella sorastuksen lopputulos on merkittävästi parempi kuin vuosina 2014 ja 2015 tehtyjen tutkimusten tulokset olivat. Tuolloin kasalta otettujen näytteiden perusteella vaatimukset täyttäviä materiaaleja ei löytynyt lainkaan. Tien pinnasta tutkittuna noin puolet kohteista oli vaaditulla rakeisuusalueella ja käytetystä sorastusmurskeesta riippumatta tien pinnan rakeisuus näyttää asettuvan ainakin hyvin lähelle vaatimuksissa olevaa ohjealuetta, joten käytössä oleva vaatimus on perusteltu.

Raidesepeleitä tutkittiin ensimmäisen kerran vuonna 2017. Tulosten perusteella sepeleiden laadussa on parannettavaa. Puolessa testatuista raidesepeleistä havaittiin muotoarvopoikkeamia. Lisäksi kaikki testatut sepelit sisälsivät merkittävän määrän (15...25 %) yli 100 mm pitkiä rakeita. Suomessa ei rajoiteta pitkien rakeiden osuutta, mutta tutkimustulosten perusteella vaatimuksen käyttöönottoa tulisi harkita. Sepelin geometriset ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi tukikerroksen käyttöikään.

Radan alusrakennemateriaaleissa havaittiin edelleen useita poikkeamia. Murskatuissa materiaaleissa oli puutteita ja virheitä CE-merkintätiedoissa. Lisäksi murskatuissa materiaaleissa havaittiin rakeisuuspoikkeamia sekä iskunkestävyyspuutteita.

Geolujitteiden lujuus- ja venymäominaisuuksia testattiin neljästä tuotteesta. Kolmessa tuotteesta havaittiin poikkeama verrattuna valmistajan ilmoittamiin nimellisvetolujuuksiin. Bentoniittimattoja tutkittiin kahdesta kohteesta. Lisäksi otettiin yhdestä kohteesta näyte ohutmuovista. Testitulosten perusteella ohutmuovikalvon neliöpainossa havaittiin poikkeama. Bentoniittimattojen osalta toisessa kohteessa bentoniittimäärän neliöpaino oli tutkittujen näytteiden perusteella liian alhainen.

**Antti Kalliainen, Pirjo Kuula och Minna Leppänen: Riksomfattande undersökning av stenmaterial och geosyntet i trafikledskonstruktioner – Undersökningar år 2017.** Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2018. Trafikverkets undersökningar och utredningar 40/2018. 102 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-585-3.

## Sammanfattning

Undersökningen är en fortsättning på en år 2014 inledd riksomfattande undersökning av trafikledskonstruktioner och gäller egenskaper hos och kvalitetsdokument för stenmaterial och geosyntetiska material som används i väg- och bankonstruktioner. Resultaten i de föregående undersökningsfaserna har rapporterats i serien Trafikverkets undersökningar och utredningar

- 18/2016, texten, inklusive sammanfattning på svenska, finns på adressen: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- 22/2017, texten, inklusive sammanfattning på svenska, finns på adressen: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>.

År 2017 utredde man för vägkonstruktionernas del egenskaperna hos beläggingsstenmaterial och hos slitlagergrus i grusvägar. För bankonstruktionernas del utredde man egenskaperna hos spårmakadam och underbyggnadsmaterial. Man strävade också efter att välja projekten så att de representerade hela landet så bra som möjligt. Förutom stenmaterial undersökte man de geoförstärkningar som använts i trafikledsprojekt samt de bentonitmattor och membran som använts i grundvattenskyddsprojekt vid landsvägar.

År 2017 undersöktes 14 beläggingsstenmaterial. Avvikelser observerades i två objekt. Kvaliteten på beläggingsstenmaterial hade förbättrats betydligt sedan 2016, både utifrån resultat med kulkvarn och utifrån resultat enligt flisighetstal. Bedömningskriterierna för de beläggingsstenmaterial som användes i underhållsentreprenader 2017 var mycket stränga, eftersom inte ens enskilda avvikelser i resultat med kulkvarn tilläts. Även om testresultaten var bättre än förut fanns det fortfarande utmaningar när det gällde att leverera resultaten av kvalitetskontroller som utförts under produktionstiden.

Undersökningen av grusvägars slitlagermaterial fortsatte i form av en undersökning av ett betydande antal prover som tagits från vägytan efter grusning. Utifrån resultaten var grusningsresultatet betydligt bättre än resultaten i undersökningarna 2014 och 2015. På basis av de prover som då togs ur hög uppfyllde inga material kraven. Cirka hälften av fallen där vägytan undersöktes låg inom det kornstorleksområde som krävdes, och oberoende av vilket grusningskross som hade använts förefaller vägytans kornighet vara åtminstone mycket nära det riktgivande området i kraven, varför kravet som används är motiverat.

Spårmakadam undersöktes första gången 2017. Utifrån resultaten finns det utrymme för förbättring i makadamkvaliteten. I hälften av de testade spårmakadamproverna observerades avvikelser i formvärde. Dessutom innehöll alla testade makadamprover en betydande mängd (15...25 %) över 100 mm långa korn. I Finland begränsas inte andelen långa korn, men på basis av undersökningsresultaten bör man överväga att införa krav för detta. Makadamens geometriska egenskaper påverkar klart ballastens livslängd.

Flera avvikelser kunde fortfarande observeras i banans underbyggnadsmaterial. För krossade material förekom brister och fel i uppgifterna i CE-märkningen. I krossade material observerades dessutom avvikelser i kornighet och brister i slaghållfasthet.

Geoförstärkningarnas hårdhets- och töjningsegenskaper testades för fyra produkter. I tre produkter observerades avvikelser jämfört med den nominella draghållfasthet som tillverkaren angett. Bentonitmattorna undersöktes i två objekt. I ett objekt togs dessutom ett membranprov. Utifrån testresultaten observerades avvikelser i membranfilmens kvadratmetervikt. Vad gäller bentonitmattorna var kvadratmetervikten för bentonitmängden enligt de undersökta proven för låg i det ena objektet.

**Antti Kalliainen, Pirjo Kuula and Minna Leppänen: Nationwide study on quality properties of aggregate and geosynthetic materials used in road and railway structures – Studies in 2017.** Finnish Transport Agency, Engineering and Technology Department. Helsinki 2018. Research reports of the Finnish Transport Agency 40/2018. 102 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-585-3.

## Abstract

The study is a follow-up of the nationwide study started in 2014 on the properties of aggregates and geosynthetic materials used in road and railway structures, and on related quality documentation. The results of the previous stages were reported in the Research reports of the Finnish Transport Agency

- (18/2016), available at: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- (22/2017), available at: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>.

In 2017, the properties of aggregates for asphalts in road structures and the gravel roads wearing course materials were studied. In the case of railway structures, the properties of railway ballast and substructure materials were studied. The projects were chosen nationally to make the study as geographically representative as possible. Not only were aggregates studied but also geosynthetics used in construction projects, and bentonite mats and geomembranes used in road groundwater protection projects.

Fourteen aggregates for asphalts were studied in 2017. Deviations were observed at two sites. Based on both ball mill and flakiness index results, the quality of aggregates for asphalts improved substantially compared with 2016. The assessment criteria for aggregates for asphalts in maintenance contracts were very strict in 2017, as not even a single ball mill result deviation was permitted. Although the test results were better than before, there were still challenges in the provision of quality control results during production.

The study of gravel road wearing course material was continued by studying a substantial number of samples taken from the road surface after the gravelling process. The results indicate that the gravelling outcome was significantly better than in the studies carried out in 2014 and 2015. In those years, none of the materials fulfilled the requirements. Based on road surface studies, about half of the studied sites were in the required grading envelope. Regardless of the type of gravelling aggregate used, the gradation of the surface seems to be at least very close to the required grading envelope. The current requirement is therefore justified.

Railway ballast was studied for the first time in 2017. The results indicate that there is room for improvement in the quality of ballast. Shape index deviations were found in half of the tested samples of railway ballast. In addition, all the tested railway ballast samples contained a significant amount (15...25%) of fragments longer than 100 mm. There are no requirements on the proportion of long fragments, but the research results indicate that the introduction of such a requirement should be considered. The geometric qualities of railway ballast have a significant effect on the service life of the ballast.

Numerous deviations were still found in railway substructure materials. Crushed materials contained defects and there were errors in the CE marking information. In addition, gradation deviations and resistance to fragmentation defects were found in the crushed materials.

The strength and strain characteristics of four geosynthetic products were tested. Deviations from the nominal tensile strength indicated by the manufacturer were observed in three products. Bentonite mats were studied at two sites. In addition, a sample of geomembrane was taken at one site. The test results found a deviation in the weight per square metre of the geomembrane. In the case of bentonite mats, the bentonite weight per square metre of the samples taken from one of the sites was too low.

## Esipuhe

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää väylärakenteissa käytettäville kiviaineksille ja geolujitteille sekä maanteiden pohjavedensuojusrakenteiden materiaaleille asetettujen laatuvaatimusten täyttymistä erityyppisillä hankkeilla pistokoe-maisesti tehdyn näytteenoton avulla. Saatuja tutkimustuloksia on käytetty mm. nykyisten laatuvaatimusten kehittämiseen.

Tutkimuksen on toteuttanut Ramboll Finland Oy yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Raportin ovat laatineet DI Antti Kalliainen (Ramboll), DI Pirjo Kuula (TTY) ja DI Minna Leppänen (TTY). Tutkimuksen ohjausryhmään ovat lisäksi kuuluneet:

Laura Pennanen (pj.)	Liikennevirasto
Kari Lehtonen	Liikennevirasto
Heikki Lappalainen	Liikennevirasto
Erkki Mäkelä	Liikennevirasto
Katri Eskola	Liikennevirasto
Veli-Matti Uotinen	Liikennevirasto
Pentti Häkkinen	Ramboll Finland Oy

Helsingissä kesäkuussa 2018

Liikennevirasto

Tekniikka- ja ympäristöosasto



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	9
2	TUTKIMUSOHJELMA .....	11
2.1	Tutkitut materiaalit ja testausmenetelmät .....	11
2.2	Näytteenotto .....	12
2.2.1	Kasalta otetut kiviainesnäytteet .....	13
2.2.2	Rakenteesta otetut kiviainesnäytteet .....	14
2.2.3	Kiviaineksen mekaaniset ominaisuudet .....	15
2.2.4	Geolujitenäytteet .....	16
2.2.5	Bentoniittimatonnäytteet .....	16
2.2.6	Ohutmuovinäytteet .....	17
3	PÄÄLLYSTEKIVIAINEKSET .....	18
3.1	Testatut ominaisuudet .....	18
3.1.1	Litteysluku .....	18
3.1.2	Nastarengaskulutuskestävyys .....	18
3.2	Testitulokset .....	19
3.2.1	Kiviaines PA .....	19
3.2.2	Kiviaines PB .....	19
3.2.3	Kiviaines PC .....	20
3.2.4	Kiviaines PD .....	21
3.2.5	Kiviaines PE .....	21
3.2.6	Kiviaines PF .....	21
3.2.7	Kiviaines PG .....	22
3.2.8	Kiviaines PH .....	23
3.2.9	Kiviaines PI .....	23
3.2.10	Kiviaines PJ .....	24
3.2.11	Kiviaines PK .....	25
3.2.12	Kiviaines PL .....	28
3.2.13	Kiviaines PM .....	29
3.2.14	Kiviaines PN .....	30
3.3	Yhteenveto päällystekiviaineksista .....	31
4	SORATIEN KULUTUSKERROSMATERIAALIT .....	32
4.1	Tulokset .....	32
4.1.1	Alueurakka SA .....	32
4.1.2	Alueurakka SB .....	34
4.1.3	Alueurakka SC .....	36
4.1.4	Alueurakka SD .....	39
4.1.5	Alueurakka SE .....	42
4.1.6	Alueurakka SF .....	46
4.1.7	Alueurakka SG .....	48
4.1.8	Alueurakka SH .....	50
4.1.9	Alueurakka SI .....	53
4.1.10	Alueurakka SJ .....	54
4.1.11	Alueurakka SK .....	56
4.2	Yhteenveto kulutuskerrosmurskeista .....	59
4.3	Paikkatietopohjainen raportointijärjestelmä .....	61

5	RAIDESEPELIT .....	63
5.1	Tutkimusmenetelmät .....	63
5.2	Testitulokset .....	64
5.2.1	Sepeli RSA .....	64
5.2.2	Sepeli RSB .....	65
5.2.3	Sepeli RSC .....	67
5.2.4	Sepeli RSD .....	69
5.2.5	Sepeli RSE .....	71
5.3	Yhteenveto raidesepeleistä .....	73
6	RADAN ALUSRAKENNEKERROSTEN MATERIAALIT .....	75
6.1	Tutkimusmenetelmät .....	75
6.1.1	Radan alusrakennekerrokset luonnonmateriaalista .....	75
6.1.2	Radan alusrakennekerrokset kalliomurskeesta .....	75
6.2	Testitulokset .....	75
6.2.1	Kohde RAA .....	75
6.2.2	Kohde RAB .....	76
6.2.3	Kohde RAC .....	78
6.2.4	Kohde RAD .....	78
6.2.5	Kohde RAE .....	80
6.2.6	Kohde RAF .....	81
6.3	Yhteenveto radan alusrakennemateriaaleista .....	83
7	GEOSYNTEETIT .....	84
7.1	Geolujitteet .....	85
7.1.1	Lujite I85 .....	
7.1.2	Lujite II .....	86
7.1.3	Lujite III .....	87
7.1.4	Lujite IV .....	88
7.2	Bentoniittimatot .....	89
7.2.1	Kohde PVSA .....	89
7.2.2	Kohde PVSB .....	92
7.3	Ohutmuovit .....	95
8	YHTEENVETO .....	97
8.1	Päällystekiviainekset .....	97
8.2	Soratien kulutuskerrokset .....	97
8.3	Raidesepelit .....	98
8.4	Radan alusrakennekerrosten materiaalit .....	99
8.5	Geosyntetit .....	99
	LÄHTEET .....	101

# 1 Johdanto

Tämä tutkimus on jatkoa vuonna 2014 alkaneelle väylärakenteiden valtakunnalliselle kiviainestutkimukselle. Vuosien 2015 ja 2016 aikana tutkimus on laajentunut koskemaan myös infrarakenteissa käytettäviä geosynteettejä. Tässä raportissa on esitetty vuonna 2017 tutkittujen kiviainesnäytteiden, geolujitenäytteiden sekä pohjaveden-suojausrakennekohteesta otettujen bentoniittimatto- ja ohutmuovinäytteiden tulokset. Aiempien vuosien tutkimustulokset on raportoitu kahdessa raportissa:

- Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviainestutkimus, LTS 18/2016 (<http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>)
- Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines ja geosynteettitutkimus, LTS 22/2017 (<http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>)

Tutkimuksen tavoitteena on:

1. Kartoittaa laaja-alaisesti infrarakenteiden materiaaleissa mahdollisesti esiintyviä laatupoikkeamia ja selvittää onko niissä alueellisia eroja ja onko poikkeamia myös CE-merkityissä materiaaleissa.
2. Arvioida aikaisemmin tehtyjen vaurioitumismallien perusteella laatupoikkeamien vaikutusta rakenteiden ominaisuuksiin ja käyttöikään sekä arvioida nykyisten laatuvaatimusten selkeyttä.
3. Arvioida urakoitsijoiden ja tilaajien nykyisiä laadunhallintakäytäntöjä ja niitä koskevia ohjeita.
4. Arvioida näytteenotto- ja testausmenetelmiä ja niiden esitystavan selkeyttä.
5. Tehdä ehdotuksia laatuvaatimusten ja käytäntöjen kehittämiseksi.

Näytteiden tasalaatuisuuden ja keskinäisen vertailtavuuden varmistamiseksi näytteenotto on tehty keskitetysti. Hankkeiden keskinäinen vertailtavuus on ensiarvoisen tärkeää, kun halutaan muodostaa yleiskäsitys siitä, kuinka hyvin hankkeiden sisäinen laadunvalvonta toimii. Mikäli näytteenottoa ei tehdä keskitetysti, on olemassa riski, että näytteiden laatu vaihtelee ja kiviaineksen laadun vaihtelun sijaan tutkitaan näytteenottotavan vaihtelevuutta. Myös kaikki kiviainesten laboratoriomääritykset on tehty samassa laboratoriossa, jotta voidaan varmistua tulosten keskinäisestä vertailtavuudesta.

Tutkimukseen kuuluu työmaalta rakenteesta otettavia näytteitä sekä urakoitsijoiden ja kiviainestoimittajien kiviainesten ottopaikalta kasalta otettavia näytteitä. Testitulokset on esitetty siten, että muut kuin asianosainen tilaaja, urakoitsija ja mahdollinen materiaalitoimittaja eivät pysty tunnistamaan kohdetta tai testattua tuotetta.

Vuoden 2017 tutkimuksen painopistealueet on valittu aiempien tutkimustulosten ja niistä seuranneiden ohje- ja vaatimuspäivitysten perusteella. Tierakennemateriaaleista on tutkittu päällystekiviaineita ja soratien kulutuskerrosmateriaaleja. Päällystekiviaineita (luku 3) tutkittiin, koska vuonna 2016 saadut tutkimustulokset vaikuttivat huolestuttavilta. Havaittuja laatupoikkeamia korjaamaan laadittiin Asfalttinormeihin lisälehti, jonka vaikutuksia haluttiin myös arvioida. Soratien kulutuskerrosmateriaalien (luku 4) tutkimus toteutettiin vuonna 2017 ottamalla tien pinnasta näytteitä. Näytteenoton avulla haluttiin selvittää sorastustoimenpiteiden kokonaisvaikutusta, koska aiemmissa tutkimuksissa on havaittu systemaattista poikkeamaa lisäävän murskeen laadussa. Samalla tarkasteltiin kunnossapitourakoihin tulleiden arvonalennusperusteiden toimivuutta.

Ratarakennemateriaaleista tutkittiin vuonna 2017 raidesepeliä ja radan alusrakennekerrosten materiaaleja. Raidesepeleitä (luku 5) ei ole tutkittu aiempina vuosina, mutta myös sepelin laatua haluttiin tarkkailla, koska lähes kaikissa muissa materiaaleissa on havaittu aiempina vuosina puutteita. Radan alusrakennemateriaalien (luku 6) tutkimusta on jatkettu joka vuosi, koska varsinkin eristys- ja välikerroksissa käytettävän murskeen ominaisuudet ovat vaihdelleet paljon.

Geosynteettisissä tuotteissa (luku 7) oli vuonna 2017 kaksi painopistealuetta, geolujitteet ja maanteiden pohjaveden suojausrakenteissa käytettävät bentoniittimatot ja ohutmuovit.

Jokaisen luvun lopussa on esitetty testaustulosten perusteella tehdyt keskeisimmät päätelmät ja toimenpidesuosituksset.

## 2 Tutkimusohjelma

### 2.1 Tutkitut materiaalit ja testausmenetelmät

Tutkimukseen on kuulunut vuonna 2017 yhteensä 20 tierakenteiden kiviaineksiin liittyvää hanketta tai urakkaa ja 8 ratarakenteiden kiviaineksiin liittyvää hanketta tai urakkaa. Geolujitteita on testattu neljältä väylähankkeelta. Maanteiden pohjaveden-suojauksessa käytettäviä bentoniittimattoja on testattu kahdelta hankkeelta ja ohutmuoveja yhdeltä hankkeelta.

Päällystekiviaineksia on testattu ELY-keskusten päällystysurakoihin liittyen yhteensä seitsemän eri ELY-keskuksen alueelta, kunkin ELY-keskuksen alueelta kaksi kiviainesta. Kiviaineksista on testattu litteysluku ja nastarengaskulutuskestävyys. Litteysluvun testaamiseksi on otettu aina kolme rinnakkaisnäytettä. Nastarengaskulutuskestävyys on testattu kahden rinnakkaisnäytteen avulla (neljä testitulosta, kaksi keskiarvoa). Neljästä satunnaisesti valitusta päällystekiviaineksesta on lisäksi toimitettu vertailunäytteitä nastarengaskulutuskestävyyden testaamista varten siihen laboratorioon, jossa kyseisen kiviaineksen tuotannonaikainen laadunvalvonta on tehty.

Soratien kulutuskerrosmateriaaleja on testattu yhteensä 11 eri alueurakan alueelta. Yhdestä urakasta on pyritty löytämään kaksi kohdetta. Joissain urakoissa kaikki näytteet on kuitenkin otettu yhdeltä sorastetulta tieosuudelta. Yhteensä soratien pinnasta on otettu 91 rakeisuusnäytettä.

Raidesepelinäytteitä on testattu viidestä eri kohteesta. Kahdessa kohteessa käytetty kiviaines oli kuitenkin sama. Sepelistä otettiin kolme rinnakkaisnäytettä, joista määritettiin rakeisuus, muotoarvo, yli 100 mm rakeiden osuus ja lopuksi Los Angeles -luku. Rinnakkaisnäytteistä on lisäksi muodostettu yksi kokoomanäyte, josta on testattu materiaalin micro-Deval -arvo.

Radan alusrakennemateriaaleja on testattu yhteensä viidestä hankkeesta, yhteensä kuusi materiaalia. Materiaaleista kolme oli kalliomursketta ja kolme erilaisia luonnonmateriaaleja. Luonnonmateriaaleista on testattu rakeisuus, jota varten on otettu neljä rinnakkaisnäytettä. Kalliomurskemateriaaleista on otettu kolme rinnakkaisnäytettä, joista on testattu rakeisuus ja materiaalin vedenimeytyminen. Lisäksi työmailta on seulottu murskeen 8/16 mm lajitetta tarvittava määrä Los Angeles- ja micro-Deval -testejä varten. Taulukossa 1 on esitetty kiviaineksista tutkitut näytemäärät.

*Taulukko 1. Kiviaineksille tehtyjen testien määrät vuonna 2017.*

Rakenne	Rakeisuus	>100 mm rakeet	Muotoarvo	Litteysluku	Los Angeles -luku	micro-Deval -arvo	Kuulamylyarvo
Soratien kulutuskerros	91	-	-	-	-	-	-
Päällystekerros	-	-	-	60	-	-	32
Raidesepeli	15	15	15	-	15	5	-
Radan alusrakennekerrokset	21	-	-	-	8	5	-

Taulukossa 2 on esitetty kiviainesnäytteille tehtyt laboratoriotestit ja niissä noudatett standardit.

*Taulukko 2. Tutkimuksessa kiviainesnäytteistä testatut ominaisuudet ja testauksissa noudatett standardit. Sulkuihin on merkitty raidesepelin testaamista koskevat tarkentavat liitteet.*

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Standardi
Rakeisuus ja hienoaainespitoisuus	Pesuseulonta	SFS-EN 933-1
Muotoarvo	Litteysluku	SFS-EN 933-3
	Muotoarvo	SFS-EN 933-4
Iskunkestävyys	Los Angeles -testi	SFS-EN 1097-2 (Liite A)
Rakeiden pituus	> 100 mm rakeet	
Hiovan kulutuksen kestävyys	micro-Deval -testi	SFS-EN 1097-1 (Liite A)
Nastarengaskulutuskestävyys	Kuulamyly	SFS-EN 1097-9

## 2.2 Näytteenotto

Tutkimuksesta ja sen tarkoituksesta on informoitu urakoitsijoita etukäteen ja sovittu urakoitsijan osallistumisesta näytteenottoon. Urakoitsija on itse saanut valita, haluaako osallistua näytteenottoon. Näytteenotto on pyritty tekemään siten, että otettu näyte edustaa kohteen keskimääräistä materiaalia. Erityistapauksissa on kuitenkin voitu ottaa myös silmämääräisesti havaittua laatupoikkeamaa edustavia näytteitä. Näytteenotto on tehty seuraavissa kappaleissa esitettyjen kuvausten mukaisesti.

Rakeisuus- ja litteyslukumäärittelyyn tarvittava testinäytteen koko määräytyy standardin SFS-EN-933-1 mukaisesti ja perustuu tutkittavan näytteen maksimiraekokoon taulukossa 3 esitetyn mukaisesti, jolloin otettu rakeisuusnäyte vastaa taulukossa 3 esitettyjä näytemääriä, mikäli toisin ei ilmoiteta.

*Taulukko 3. Standardissa SFS-EN 933-1 vaaditut testinäytteen vähimmäismassat.*

Maksimiraekoko (mm)	Testinäyte (kg)
90	80
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

### 2.2.1 Kasalta otetut kiviainesnäytteet

Näytekasasta on otettu kauhakuormaajalla kauhallinen tutkittavaa materiaalia. Materiaali on levitetty kauhasta tasaiseksi kerrokseksi. Levityksen jälkeen kerroksesta on määritelty silmämääräisesti alue, joka vastaa tutkittavaa materiaalia keskimäärin ja tästä kohdasta on otettu tarvittava määrä näytettä tutkimuksia varten siten, että otettava näytemäärä täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) mukaisen näytemäärän (kuva 1). Rakeisuusnäytteet on jaettu näytteenottostandardin mukaisesti nelioimällä siten, että laboratorioon toimitettu osanäyte täyttää seulontastandardin (SFS-EN 933-1) vaatimukset (kuvat 2 ja 3).



Kuva 1. Kauhakuormaajalla tasaiseksi matoksi levitettyä materiaalia, josta on otettu näytteitä satunnaisista paikoista.



Kuva 2. Levitetystä materiaalista otettu näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) mukainen näyte.





Kuva 3. Näytteen jakaminen neliömällä.

### 2.2.2 Rakenteesta otetut kiviainesnäytteet

Näytteet on otettu kaivamalla lapiolla koekuoppa (kuva 4). Näytettä on otettu yhdestä kohdasta tutkimuksia varten riittävä määrä, mikä täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) vaatimukset. Rakeisuusnäytteet on jaettu näytteenottostandardin mukaisesti neliömällä siten, että laboratorioon toimitettu osanäyte täyttää seulontastandardin (SFS-EN 933-1) vaatimukset.





*Kuva 4. Radan välikerrokseen kaivettu koekuoppa. Kuopan halkaisija on noin 800 mm ja syvyys noin 250 mm.*

### **2.2.3 Kiviaineksen mekaaniset ominaisuudet**

Kiviaineksen mekaanisten ominaisuuksien testejä varten näytteenottokohteessa on seulottu lajitetta 8/16 mm kunkin testausmenetelmän vaatimusten mukainen määrä. Käytännössä esimerkiksi Los Angeles -testiä varten on seulottu noin 25 kg lajitetta, koska varsinkin karkeiden murskeiden (maksimiraekoko yli 45 mm) tapauksessa työ-  
maolosuhteissa mukaan tulee käsin seulomalla jonkin verran lajitteiden 8/16 mm ulkopuolelle jäävää materiaalia, joten työmaalta on otettu mukaan näytteitä varmasti testeihin riittävä määrä.

Mikäli on poikettu edellä kuvatusta näytteenottomenetelmästä, poikkeama on dokumentoitu erikseen luvuissa 3-6.

#### 2.2.4 Geolujitenäytteet

Geolujitteiden näytteenotto on tehty näytteenottostandardin EN ISO 9862 – Geosynthetics: Sampling and preparation of test specimens ja NorGeoSpec-ohjeistuksen mukaisesti. Näytteenotto etenee seuraavasti:

1. Työmaalla tai varastossa olevat tuotteet katselmoidaan ja rullien määrä sekä kunto dokumentoidaan.
2. Rullissa olevat merkinnät tarkistetaan. Jokaisesta rullasta tulee löytyä tuotteen CE-merkintätiedot sekä tuotteen yksilöivä tunniste, käytännössä rullanumero.
3. Näytteenottoon valitaan kaksi rullaa (A- ja B-näyte). Rullat pyritään valitsemaan siten, että niiden rullanumerot poikkeavat toisistaan mahdollisimman paljon. Näytteenottoa varten geolujitteita tulisi olla varastossa vähintään kuusi avaamatonta rullaa.
4. Näyte otetaan aina täydestä rullasta. Rullan alusta leikataan pois vähintään kaksi täyttä kierrosta, jotta esim. kuljetuksen aikana tulleet vauriot karsitaan pois testikappaleista. Tämän jälkeen otetaan varsinainen näyte, joka on koko rullan levyinen. Geolujitenäytteen pituus on vähintään kaksi metriä. Näytteet pyritään ottamaan siten, että ne pysyvät mahdollisimman puhtaina.
5. Otetut näytteet merkitään. Merkinnästä käy ilmi rullan pituus- eli konesuunta (MD) ja poikkileikkaussuunta eli konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta (CMD), tuotteen valmistaja, tuotemerkki, rullan numero, näytteenottopaikka ja -päivämäärä sekä näytteenottaja. Vastaavat merkinnät dokumentoidaan myös näytteenottolomakkeeseen. Lomakkeeseen kirjataan lisäksi tehdyt havainnot kuten likaisuus, kosteus, suojamuovien ehjyys jne.
6. Näytteet pakataan UV-suojattuun muoviin ja lähetetään laboratorioon testattavaksi.

Taulukossa 4 on esitetty tutkimuksessa otetut näytemäärät ja niille tehdyt testit. Geosynteettisistä tuotteista otetaan samalla kertaa A- ja B-näyte. Ensin testataan A-näyte ja jollei se täytä vaatimuksia, mutta poikkeama on riittävän vähäinen (<1...1,5 kertaa sallittu toleranssi), testataan B-näyte.

*Taulukko 4. Geolujitenäytteiden määrä ja testimenetelmät.*

Ominaisuus	Testistandardi	Näytteiden lukumäärä
Vetolujuus	EN ISO 10319	4
Murtovenymä		4

#### 2.2.5 Bentoniittimattonäytteet

Bentoniittimattonäytteet on otettu InfraRYL:n 14231 liitteen 8 periaatteiden mukaisesti. Ohjeesta poiketen A ja B näytteet on otettu samasta rullasta. Bentoniittimattomäytteitä otettiin kahdelta työmaalta kahdesta eri tuotteesta. Molemmista tutkituista tuotteista otettiin kolme näytettä. Näytteet on otettu pääpiirteittäin samaan tapaan kuin geolujitenäytteet. Tarvittava näytemäärä on pienempi. Bentoniittimattonäyte on koko rullan levyinen ja pituudeltaan vähintään 500 mm (kuva 5). Näytteet pakattiin työmaalla rullalle ja suojattiin kaksinkertaisella muovilla.



Kuva 5. Bentonittimatonnäytteiden leikkaaminen täydestä rullasta. Kuvassa näkyvät näytteeseen tehtävät merkinnät.

Näytteistä tutkittiin bentoniitin paisumisindeksi ja bentoniitin määrä maton pinta-ala kohden uunikuivattuna. Tutkitut näytemäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Bentonittimatonnäytteiden määrät ja testimenetelmät.

Ominaisuus	Standardi	Näytemäärä
Bentoniitin paisumisindeksi	ASTM D5890	2
Bentoniittimaton neliöpaino	EN-ISO 9864	2

### 2.2.6 Ohutmuovinäytteet

Pohjavedensuojusrakenteissa käytettäviä ohutmuoveja tutkittiin ensimmäistä kertaa. Näytteitä otettiin yhdestä kohteesta neljästä eri rullasta. Näytteet otettiin samalla periaatteella kuin muidenkin geosyntetisten tuotteiden näytteet. Tutkitut näytemäärät on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Ohutmuovinäytteiden määrät ja testimenetelmät.

Ominaisuus	Standardi	Näytemäärä
Neliömassa	SFS-EN ISO 9864	4

## 3 Päällystekiviainekset

Päällystekiviaineita testattiin ELY-keskusten päällystysurakoissa. Näytteitä haettiin seitsemän urakoita teettävän ELY-keskuksen alueelta. Yhteensä testattiin 14 kiviainesta. Näytteistä on määritetty litteysluku ja nastarengaskulutuskestävyys. Tulokset on esitetty kiviainekohtaisesti. Neljästä kohteesta on otettu lisäksi rinnakkaisia vertailunäytteitä nastarengaskulutuskestävyystestejä varten. Vertailunäytteet on toimitettu siihen laboratorioon, jossa kiviaineksen tuotannonaikainen laadunvalvonta on tehty. Lisäksi on tarkasteltu tuotannon aikaista laadunvalvontaa niiltä osin, kun Asfalttinormien 1.1.2017 julkaistu lisälehti on koskenut murskattavaa kiviaineserää ja vaatimus on ollut voimassa ko. urakassa. Lisälehdessä käytettävän materiaalin kaikkien nastarengaskulutuskestävyystestien tuloksissa ei sallita luokkarajan ylityksiä yksittäisille näytteille ja tuotannon aikaisten testitulosten määrittämiselle ja vähimmäismäärää on tarkennettu. Saatua koetuloksia on verrattu urakassa asetettuihin vaatimuksiin ja kiviainestoimittajan CE-merkissä ja/tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin luokkiin.

### 3.1 Testatut ominaisuudet

#### 3.1.1 Litteysluku

Litteysluku määritetään jakamalla testattavan näytteen  $> 4$  mm aines standardin SFS-EN 933-3 mukaisiin kapeisiin raekokolajitteisiin. Jokaisesta lajitteesta määritetään litteiden rakeiden prosentuaalinen osuus välppäseulalla, jonka rakokoko on puolet testattavan lajitteen maksimirakeesta. Koko näytteen litteysluku lasketaan testissä käytettyjen välppäseulojen läpäisseiden rakeiden massan prosentuaalisena osuutena kaikkien testattujen lajitteiden massasta. Litteysluku ilmoitetaan kokonaislukuna.

Päällysteessä käytettävän kiviaineksen raemuodolla (litteysluvulla) on merkitystä päällysteen deformaation kannalta. Litteät kivirakeet murtuvat pyöreitä rakeita helpommin ja ovat näin alttiimpia deformaatiolle.

#### 3.1.2 Nastarengaskulutuskestävyys

Nastarengaskulutuskestävyys määritetään standardin SFS-EN 1097-9 mukaisella testilaitteella seulotusta ja pestystä lajitteesta 11,2/14/16 mm. Testissä 1 kg testinäytettä, kahta litraa vettä ja 7 kg ( $\varnothing$  15 mm) teräskuulia pyöritetään vakionopeudella pyörivässä kuulamylyrymmussa 5400 kierrosta. Testin tulos lasketaan testin jälkeen  $< 2$  mm hienontuneiden rakeiden prosentuaalisena osuutena testinäytteen massasta. Testitulos on aina kahden yksittäistestinäytteen tuloksen keskiarvo ja se ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella.

Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys kuvaa nimensä mukaisesti kiviaineksen kykyä vastustaa nastarengaskulutusta aiheuttavaa kulutusta. Kiviainekselta vaadittava nastarengaskulutuskestävyys riippuu luonnollisesti monesta osatekijästä, kuten liikkemäärästä, ajonopeudesta ja päällysteen märkyydestä. Riittävällä kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydellä saadaan alennettua päällysteen urautumisnopeutta.

## 3.2 Testitulokset

### 3.2.1 Kiviaines PA

Kiviainesta PA on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 7 ja nastarengaskulutuskestävyytestien tulokset taulukossa 8. Litteyslukutesteissä havaittiin pieni poikkeama vaatimukseen ja suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuun luokkaan verrattuna. Poikkeama on kuitenkin niin pieni, että sen varmistaminen vaatisi runsaasti lisänäytteitä. Lisäksi lajitteesta 0/8 mm ei ole ilmoitettu litteyslukua, vaikka osa kiviaineksesta (4/8 mm) kuuluu litteyslukustandardin piiriin.

Kohteen kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys täytti tutkittujen näytteiden perusteella vaatimukset. Kyseisestä kiviaineksesta on tehty nastarengaskulutuskestävyytestejä tämän tutkimuksen puitteissa myös vuonna 2016 (kiviaines TL (Kalliainen et. al. 2017)), jolloin havaittiin poikkeama. Testatun tuotantoerän laatu-dokumentit olivat vuodelta 2016.

Taulukko 7. Kiviaineksen PA litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	11	11	10	FI15	FI10	FI10
0/8	10	10	11	FI10	FI10	ei ilmoitettu

Taulukko 8. Kiviaineksen PA nastarengaskulutuskestävyytestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
6,8	6,6	6,6	7,1	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7
	6,9		6,1			

### 3.2.2 Kiviaines PB

Kiviainesta PB on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Kiviaineksesta on otettu näytteitä 8/16 mm lajitteesta. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 9 ja nastarengaskulutuskestävyytestien vastaavat tulokset taulukossa 10. Poikkeamia vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin ei havaittu.

Koska kiviaines on valmistettu 1.1.2017 jälkeen, on Asfalttinormien lisälehti voimassa. Lisäksi kiviainesta on käytetty vuoden 2017 aikana kilpailutetussa urakassa, jossa kiviainestoiimittajan pitää raportoida myös tuotannon aikana tehtyjen nastarengaskulutuskestävyytestien tuloksia. Tässä tapauksessa myös vastaavia litteyslukutestien tuloksia oli raportoitu. Näissäkään testituloksissa ei havaittu poikkeamia eli kiviaines on vaatimustenmukaista.

Taulukko 9. Kiviaineksen PB litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	5	7	5	FI10	FI20	FI10
Lajite (mm)	Tuotannonaikaiset testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	6	9	5	FI10	-	FI10
	5	6	7			
	6	6	5			

Taulukko 10. Kiviaineksen PB nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
10,6	10,2	10,4	10,7	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14
	10,9		10,1			
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
11,1	-	11,8	-	A <sub>N</sub> 14	-	A <sub>N</sub> 14
	-		-			
10,8	-	10,9	-			
	-		-			
9,6	-	8,4	-			
	-		-			

### 3.2.3 Kiviaines PC

Kiviainesta PC on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu koostekiviaineksesta 0/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 11 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 12. Kiviaineksista ei ollut tuotannonaikaisia laatudokumentteja tämän tutkimuksen käytössä. Testeissä ei havaittu poikkeamia verrattuna tilaajan vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin.

Taulukko 11. Kiviaineksen PC litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
0/16	21	19	20	FI20	FI35	FI20

Taulukko 12. Kiviaineksen PC nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
13,0	13,3	13,1	13,5	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 19	A <sub>N</sub> 19
	12,8		12,7			



### 3.2.4 Kiviaines PD

Kiviainesta PD on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Kiviaineksesta on otettu näytteitä 8/16 mm lajitteesta. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 13 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 14. Tutkimuksen käytössä ei ollut tuotannonaikaisia laatudokumentteja. Testeissä ei havaittu poikkeamia verrattuna tilaajan vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin.

Taulukko 13. Kiviaineksen PD litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	17	15	14	FI20	FI20	FI20

Taulukko 14. Kiviaineksen PD nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
11,5	11,8	11,3	11,2	AN 14	AN 14	AN 14
	11,3		11,4			

### 3.2.5 Kiviaines PE

Kiviainesta PE on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu koostekiviaineksesta 0/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 15 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 16. Kiviaineksesta ei saatu käyttöön tuotannonaikaisia testituloksia, mutta tutkittujen näytteiden perusteella kiviaines täyttäisi myös vaadittua korkeamman luokan vaatimukset.

Taulukko 15. Kiviaineksen PE litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
0/16	13	16	14	FI15	FI35	FI35

Taulukko 16. Kiviaineksen PE nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
13,6	13,8	13,7	13,2	AN 14	AN 19	AN 19
	13,5		14,0			

### 3.2.6 Kiviaines PF

Kiviainesta PF on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Kiviaineksesta on otettu näytteitä 8/16 mm lajitteesta. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 17 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 18. Poikkeamia vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin ei havaittu. Tuotannonaikaisia laatudokumentteja ei ollut tutkimuksen käytössä.

Taulukko 17. Kiviaineksen PF litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	4	5	4	FI5	FI10	FI10

Taulukko 18. Kiviaineksen PF nastarengaskulutuskestävyytestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
5,4	5,7	5,1	5,0	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7
	5,1		5,2			

### 3.2.7 Kiviaines PG

Kiviainesta PG on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 19 ja nastarengaskulutuskestävyytestien tulokset taulukossa 20. Poikkeamia vaatimuksiin tai suoritustasoi-  
moksissa ilmoitettuihin arvoihin ei havaittu. Myös tuotannon aikaisten ja vertailulabo-  
ratoriosta saatujen testitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut vaatimukset.

Taulukko 19. Kiviaineksen PG litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	14	14	13	FI15	FI15	FI15
0/8	29	27	28	FI35	FI15	ei ilmoitettu

Taulukko 20. Kiviaineksen PG nastarengaskulutuskestävyytestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
5,3	5,5	5,9	5,8	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10
	5,2		6,0			
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
5,7	5,9	6,2	6,2	A <sub>N</sub> 7	-	A <sub>N</sub> 10
	5,4		6,1			
6,6	6,7	-	-			
	6,4		-			
Vertailulaboratorion testitulos				Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
4,6	4,2	-	-	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10
	4,9		-			



### 3.2.8 Kiviaines PH

Kiviainesta PH on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu koostekiviaineksesta 0/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 21 ja nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset taulukossa 22. Poikkeamia vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin verrattuna ei havaittu. Myös tuotannon aikaisten nastarengaskulutuskestävyydestitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut vaatimukset.

Taulukko 21. Kiviaineksen PH litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
0/16	16	14	15	FI15	FI20	FI20

Taulukko 22. Kiviaineksen PH nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
13,6	13,8	13,8	13,5	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14
	13,5		15,0			
Tuotannon aikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
13,9	13,6	12,9	12,5	A <sub>N</sub> 14	-	A <sub>N</sub> 14
	14,2		13,3			
13,2	13,0	14,0	13,6			
	13,3		14,4			
12,6	13,0	-	-			
	12,2		-			

### 3.2.9 Kiviaines PI

Kiviainesta PI on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 23 ja nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset taulukossa 24. Testituloksissa ei havaittu poikkeamia verrattuna vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin. Myös tuotannon aikaisten ja vertailulaboratoriosta saatujen testitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut vaatimukset.

Taulukko 23. Kiviaineksen PI litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
8/16	12	13	14	FI15	FI15	FI15

Taulukko 24. Kiviaineksen PI nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
7,5	7,7	7,6	7,6	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10
	7,4		7,6			
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
8,5	8,5	7,9	7,8	A <sub>N</sub> 10	-	A <sub>N</sub> 10
	8,5		7,9			
8,8	8,9	-	-			
	8,6		-			
Vertailulaboratorion testitulos				Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
7,2	7,3	-	-	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10
	7,1		-			

### 3.2.10 Kiviaines PJ

Kiviainesta PJ on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/6, 6/11 ja 11/16 mm. Näytteitä on otettu lajitteista 6/11 ja 11/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 25 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 26. Kiviaines täyttää testitulosten perusteella asetetut vaatimukset. Kiviaineksen suoritusasoilmoitukset ovat sen sijaan virheellisiä. Niihin on merkitty litteysluvun kohdalle yksittäinen arvo eikä luokkaa. Testitulokset poikkeavat hieman annetusta yksittäisestä lukuarvosta, mutta täyttävät kuitenkin asetetut vaatimukset.

Myös nastarengaskulutuskestävyyden osalta kiviaineksen suoritusasoilmoituksessa on puute, sillä sitä ei ole merkitty lainkaan dokumentteihin. Tutkittujen näytteiden ja tuotannonaikaisen testitulosten perusteella kiviaines kuitenkin täyttää asetetut vaatimukset.

Taulukko 25. Kiviaineksen PJ litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
11/16	5	5	5	FI5	FI15	4
6/11	8	6	6	FI10	FI15	4
Lajite (mm)	Tuotannonaikaiset testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
11/16	4	4	6	FI5	-	4
	5	4	4			
	4	5	-			

Taulukko 26. Kiviaineksen PJ nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
8,9	8,8	8,8	8,7	A <sub>N</sub> 10	A <sub>N</sub> 10	ei ilmoitettu
	9,0		8,9			
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
9,3	-	9,8	-	A <sub>N</sub> 10	-	ei ilmoitettu
	-		-			
9,1	-	9,0	-			
	-		-			
9,6	-	9,6	-			
	-		-			
9,7	-	9,2	-			
	-		-			

### 3.2.11 Kiviaines PK

Kiviainesta PK on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 27 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 28. Näytteitä on otettu lajitteesta 8/16 mm. Testituloksissa havaittiin poikkeama materiaalin nastarengaskulutuskestävyydessä. Myös tuotannonaikaisista testituloksista löytyi yksi asetetun luokkarajan niukasti ylittävä testitulos. Kiviaineksen CE-merkintätietoja ei ollut tutkimuksen käytössä, yksittäisiä tuotannonaikaisia testituloksia kylläkin.

Taulukko 27. Kiviaineksen PK litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritusaso- ilmoitus
8/16	7	6	6	FI10	FI15	ei toimitettu

Taulukko 28. Kiviaineksen PK nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
10,2	9,9	10,7	10,7	AN 14	AN 10	ei toimitettu
	10,5		10,7			
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
9,8	9,8	10,3	10,2	AN 14	-	ei toimitettu
	9,7		10,4			
10,5	10,8	8,7	-			
	10,1		-			
8,5	-	8,9	-			
	-		-			
Vertailulaboratorion testitulos				Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
8,7	8,7	-	-	AN 10	AN 10	ei toimitettu
	8,7		-			

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty tämän tutkimuksen osana testattua kiviainesta nastarengaskulutuskestävyystestin jälkeen. Kuvassa 7 havaitaan runsaampi määrä pienempään raekokoon jauhaantunutta kiviainesta. Osa pienemmästä fraktiosta on punaista, osa mustaa. Kun lisäksi huomioidaan kiviainestoimittajan toimittamat petrografiset analyysit kiviaineksesta vuosilta 2013 ja 2014, voidaan todeta, että helpommin kuluvien mineraalien määrä vaihtelee jonkin verran. Vuonna 2013 kiilteiden kokonaisosuudeksi (musta pieneksi jauhaantunut fraktio) on arvioitu 12 % ja vuonna 2014 5 %. Vastaavasti kalimaasälpää (punainen pieneksi jauhaantunut fraktio) on arvioitu olevan 2013 22,2 % ja 2014 vain 4,5 % kiviaineksen koostumuksesta. Näiden analyysien perusteella voidaan todeta kiviaineksen laadun vaihtelevan jonkin verran. Tämä voi osittain selittää vaaditun luokkarajan ylittävät nastarengaskulutuskestävyystestitulokset.



Kuva 6. Näytteen PK4 (koetulos 9,9) kiviaines nastarengaskulutuskestävyys-testin jälkeen.



Kuva 7. Näytteen PK5 (koetulos 10,7) kiviaines nastarengaskulutuskestävyys-testin jälkeen.

### 3.2.12 Kiviaines PL

Kiviainesta PL on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/3, 3/8, 8/11 ja 11/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 29 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 30. Näytteitä on otettu lajitteista 8/11 ja 11/16 mm. Poikkeamia vaatimuksiin tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin arvoihin ei havaittu. Myös tuotannon aikaisten testitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut vaatimukset.

*Taulukko 29. Kiviaineksen PL litteyslukutestien tulokset.*

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
11/16	6	5	6	FI10	FI10	FI10
8/11	11	10	11	FI15	FI10	FI15
Lajite (mm)	Tuotannon aikaiset testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
11/16	5	5	5	FI5	-	FI10
	4	6	8			
	9	7	6			
	7	6	6			
	7	6	4			
	5	4	4			
	6	4	4			
	4	3	3			
	3	4	-			
8/11	11	16	11	FI10	-	FI15
	12	13	12			
	10	11	10			
	12	11	10			
	9	10	8			
	10	9	10			
	7	7	9			
	8	-	-			

Taulukko 30. Kiviaineksen PL nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
7,3	7,5 7,0	7,3	7,0 7,5	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7
Tuotannonaikaiset testitulokset				Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
6,8	- -	7,1	- -	A <sub>N</sub> 7	-	A <sub>N</sub> 7
6,8	- -	7,1	- -			
7,4	- -	6,9	- -			
7,1	- -	7,3	- -			
6,7	- -	6,9	- -			
6,3	- -	6,6	- -			
7,0	- -	6,6	- -			

### 3.2.13 Kiviaines PM

Kiviainesta PM on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/4, 4/8, 8/11 ja 11/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 31 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 32. Näytteitä on otettu lajitteista 4/8, 8/11 ja 11/16 mm. Testitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut vaatimukset. Toki lajitteen 4/8 mm litteysluku poikkeaa päällystemassalle asetetusta vaatimuksesta, mutta sen osuus massassa on todennäköisesti niin pieni, että se heikentäisi massan litteyslukuarvoa yli luokkarajan. Materiaalin laatudokumentteja ei ollut tutkimuksen käytössä.

Taulukko 31. Kiviaineksen PM litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
11/16	8	7	4	FI10	FI10	ei toimitettu
8/11	9	8	9	FI10	FI10	ei toimitettu
4/8	14	17	16	FI20	FI10	ei toimitettu

Taulukko 32. Kiviaineksen PM nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
6,0	6,2 5,9	6,2	6,2 6,3	A <sub>N</sub> 7	A <sub>N</sub> 7	ei toimitettu

### 3.2.14 Kiviaines PN

Kiviainesta PN on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu koostekiviaineksesta 0/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 33 ja nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset taulukossa 34. Testituloksissa havaittiin poikkeama materiaalin nastarengaskulutuskestävyydessä. Myös tuotannonaikaisista testituloksista on ollut vaaditun luokkarajan niukasti ylittäviä testituloksia. Kiviainestoitittajan edustajan kanssa käydyn keskustelun perusteella ongelma nastarengaskulutuskestävyydessä on havaittu jo tuotannon aikana. Ylitykset on havaittu murskauksen alkuvaiheessa, jonka jälkeen runsaammin kiilteitä sisältävä kiviaines on poistettu murskattavasta erästä. Tätä tukevat tuotannon aikana tehtyjen testien tulokset. Ylitykset on havaittu murskauksen alussa (tuotannonaikaiset testitulokset 1 taulukossa 34). Toisaalta tämän tutkimuksen näytteet on haettu päällystysurakoitsijan asfaltti-asemalta, joten ei voida olla täysin varmoja, mitä kiviaineserää asemalle on toimitettu. Kun nastarengaskulutuskestävyystestissä saatiin tulos 15,8, koe uusittiin. Samasta näyte-erästä tehdyn uusintatestin tulos oli 13,6, eli kiviaineksessa on jonkin verran vaihtelua myös varsin suppeassa tutkimuserässä.

Taulukko 33. Kiviaineksen PN litteyslukutestien tulokset.

Lajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritusas- ilmoitus
0/16	16	14	17	FI20	FI20	FI20

Taulukko 34. Kiviaineksen PN nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset.

Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
14,6	15,1	15,8	15,2	A <sub>N</sub> 19	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14
	14,0		16,5			
-	-	13,6	13,0	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14
	-		14,2			
Tuotannonaikaiset testitulokset 1				Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
14,6	14,8	17,8	18,1	A <sub>N</sub> 19	-	A <sub>N</sub> 14
	14,5		17,5			
Tuotannonaikaiset testitulokset 2				Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
11,7	11,5	13,6	13,8	A <sub>N</sub> 14	-	A <sub>N</sub> 14
	11,9		13,4			
Vertailulaboratorion testitulos				Luokka	Vaatus	Suoritustaso- ilmoitus
13,6	13,0	-	-	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14	A <sub>N</sub> 14
	14,2		-			



### 3.3 Yhteenveto päällystekiviaineeksista

Vuonna 2017 tehtyjen tutkimusten perusteella päällystekiviainesten laatu on kuulamyllyarvojen ja litteyslukujen osalta parantunut merkittävästi verrattuna vuoteen 2016, jolloin poikkeamia havaittiin lähes kaikissa testatuissa kiviaineeksissa. Urakoitsijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella päällystemassassa käytettäviin kiviaineeksiin kiinnitetään nyt enemmän huomiota. On luonnollisesti toivottavaa, että myös urakoitsijat varmistavat käytettävän kiviaineen laadun ennen päällystämistä. Tätä kautta päällysteiden kestoikä paranee.

Kaikkein korkealuokkaisimpia kiviaineeksia on jo nyt tietyillä alueilla hyvin vähän ja kuljetusmatkat verrattain pitkiä, yli 100 km. Koko valtakunnan tasolla lisää päällystämisen kustannuksia ja siitä aiheutuvaa ympäristöärsitusta. Yksittäisten kohteiden osalta kiviaineen valinta voi toki perustua puhtaasti saatavuuteen sekä päällystysurakoitsijan ja kiviainestoimittajan välisiin keskinäisiin sopimuksiin. Käytössä olevien resurssien ohjaamiseksi voisi olla tarkoituksenmukaista, että tilaajatahoilla olisi käytössään mahdollisimman kattavasti kiviaineen laatutietoja koottuna. Yksi vaihtoehto voisi olla esimerkiksi kappaleen 4 lopussa esitelty karttapohjalla esitetty tuloskoonti tämän tutkimuksen yhteydessä saaduista päällystekiviainesten ominaisuustiedoista.

Tuotannonaikaisia laatudokumentteja ei ollut tämän tutkimuksen käytössä kaikista kiviaineeksista, vaikka vaatimus esimerkiksi yksittäisten kuulamyllytulosten toimittamisesta on ollut Asfalttinormeissa jo vuodesta 2008. Myös CE-merkintää varten tarvitaan tuotannonaikaisen laadunvalvonnan dokumentit.

## 4 Soratien kulutuskerrosmateriaalit

Vuosien 2014 ja 2015 aikana tutkittiin merkittävä määrä soratien kulutuskerros-materiaaleja. Näissä tutkimuksissa kaikki tutkitut näytteet poikkesivat Soratien kunnossapito-ohjeessa esitetystä rakeisuusvaatimuksesta (Liikennevirasto 2014). Tuolloin materiaalinäytteet otettiin murskekasoista. Vuonna 2017 päätettiin toteuttaa laaja tutkimus, jossa näytteet otetaan soratien pinnasta sorastuksen jälkeen, jotta saadaan käsitys siitä, kuinka paljon jäljellä oleva soratien kulutuskerros vaikuttaa kulutuskerroksen rakeisuuteen. Näytteitä otettiin yhteensä 11 alueurakan alueelta. Pääosin yhtä urakkaa kohti testattiin kaksi sorastettua tieosuutta.

Tulokset on esitetty seuraavissa kappaleissa. Tuloksia on verrattu käytettyjen soras-tumurskeiden keskimääräisiin rakeisuuksiin niiltä osin, kun tietoja on saatu tutki-muksen käyttöön. Tilaajia varten on kehitetty paikkatietopohjaiseen raportointiin työ-kalu, jota esitellään lyhyesti kappaleessa 4.2.

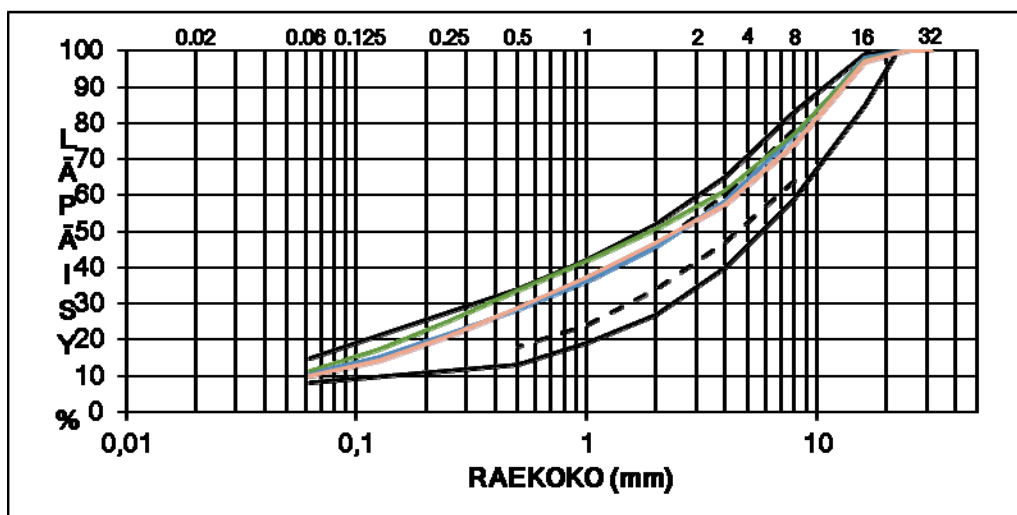
### 4.1 Tulokset

#### 4.1.1 Alueurakka SA

Aluevastaavan mukaan alueurakan SA kohteessa 1 tehtiin keväällä kelirikkokorjausta. Kuvassa 8 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Tien reunassa näkyy edelleen tien pintaan ennen sorastusta muodostunut hienorakeinen, pintakeli-rikkoriskiä aiheuttava kerros. Kelirikkokorjaus on onnistunut varsin hyvin, kuten tut-kittujen näytteiden rakeisuuskäyristä kuvassa 9 voidaan havaita. Sorastusmurskeen laatutietoja ei ollut tutkimuksen käytettävissä vertailua varten.



Kuva 8. Soratien pinta alueurakan SA kohteessa 1.



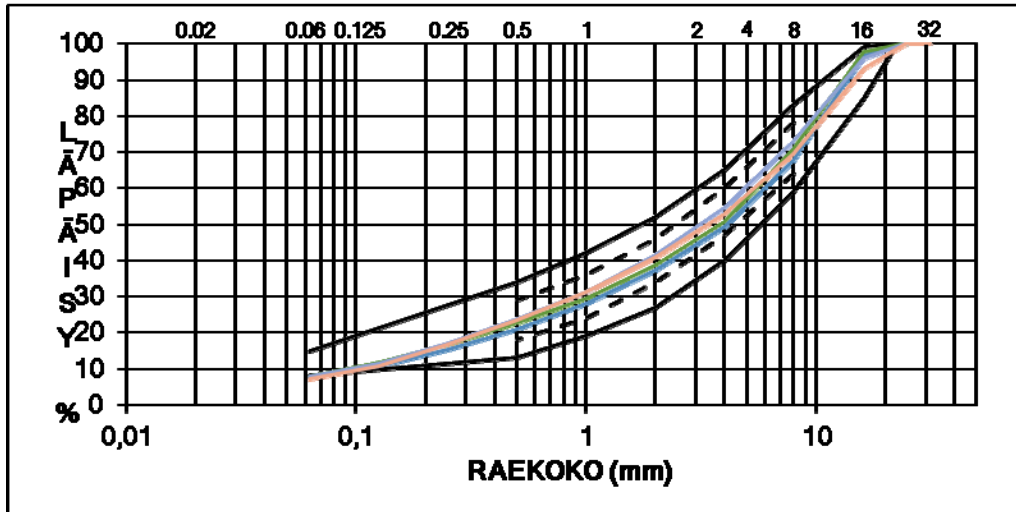
Kuva 9. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SA kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SA kohteessa 2 tehtiin tavanomaista syyssorastusta. Kuvassa 10 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Tutkittujen näytteiden rakeisuuskäyrien perusteella (kuva 11) hienoainesmäärä alittaa aavistuksen verran vaatimuksen, mutta muutoin tien pinnan materiaalin rakeisuus on varsin hyvä. Lopputulos saataisiin paremmaksi, jos tien pinta olisi tiivistetty esim. rengasjyrällä. Sorastusmurskeen laatutietoja ei ollut tutkimuksen käytettävissä.



Kuva 10. Soratien pinta alueurakan SA kohteessa 2.





Kuva 11. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SA kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.2 Alueurakka SB

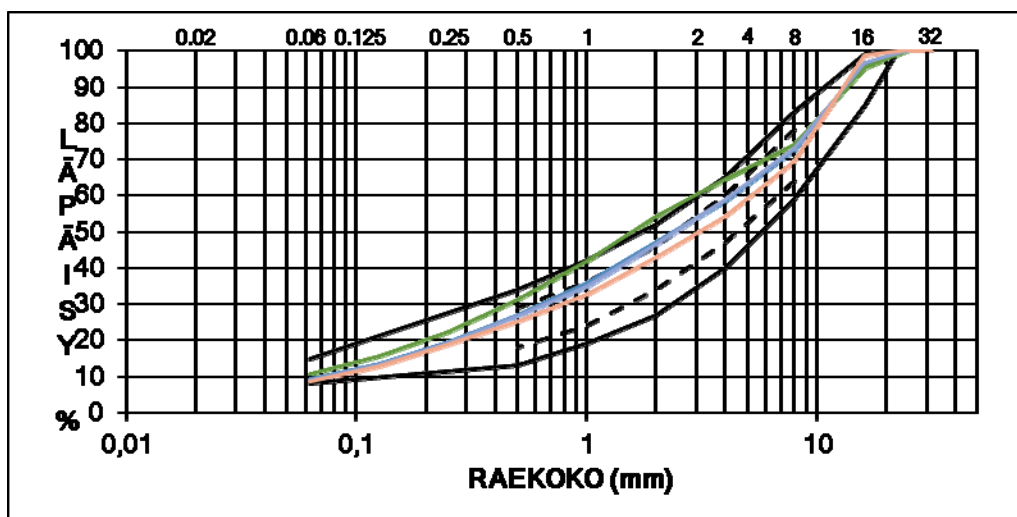
Alueurakan SB kohteessa 1 tehtiin tavanomaista syyssorastusta. Kuvassa 12 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmurskeen laatutietoja ei ollut tutkimuksen käytettävissä. Kohteessa on näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella käytetty varsinaisen sorastusmurskeen lisäksi jotakin hienorakeisempaa materiaalia sitomaan tien pintaa. Tutkittujen näytteiden rakeisuuskäyrien perusteella (kuva 14) tien pinnan materiaalin rakeisuus on vaaditulla alueella. Kaikista sorastustoimenpiteistä ei toisaalta ole täyttä varmuutta. Kuvassa 13 näkyy, että sorastusmurskeen karkeita rakeita on lentänyt jo merkittävässä määrin ojaan, joten on oletettavaa, että pintaa sitovan hienomman murskeen levittämiseltä olisi välttytty, jos alkuperäisen sorastuksen yhteydessä olisi tehty muokkaus-, homogenisointi- ja tiivistystoimenpiteet suunnitelmallisesti ja huolellisesti.



Kuva 12. Soratien pinta alueurakan SB kohteessa 1.



Kuva 13. Ojaan lentänyttä sorastusmurskeen karkeaa jaetta alueurakan SB kohteessa 1.



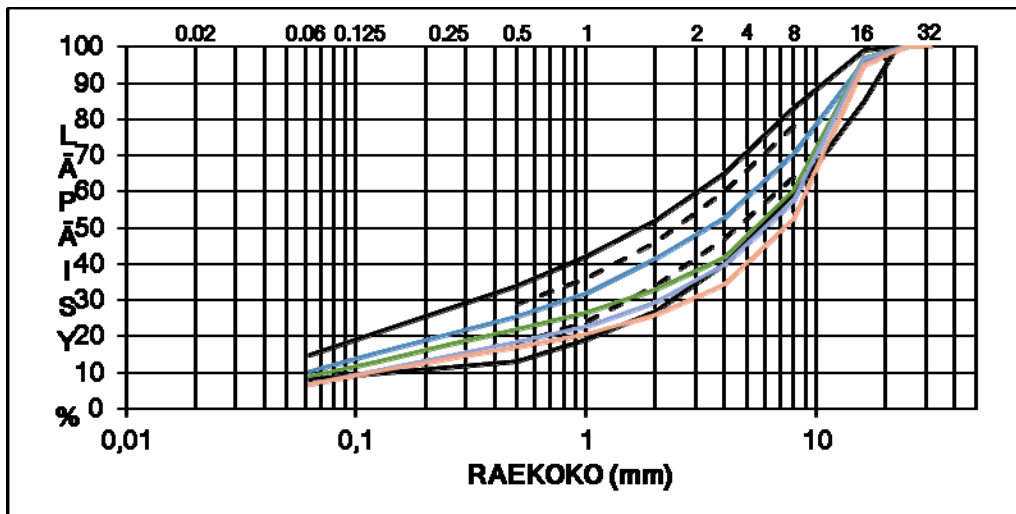
Kuva 14. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SB kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SB kohteessa 2 tehtiin syyssorastusta. Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmurskeen laatutietoja ei ollut tutkimuksen käytössä. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden tulokset on esitetty kuvassa 16. Näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella sorastettu tieosa on todennäköisesti kärsinyt pintakelirikko-ongelmista. Ratkaisuna on käytetty oletettavasti karkeaa mursketta, koska tutkittujen näytteiden rakeisuuskäyrät ovat pääosin roikkuvia. On todennäköistä, että suuri osa pintaan levitetystä karkeasta murskeesta lentää ojaan. Tässäkin kohteessa lopputulos olisi oleellisesti parempi, jos muokkaus-, homogenisointi- ja tiivistystoimenpiteet olisi tehty asianmukaisesti.





Kuva 15. Soratien pinta alueurakan SB kohteessa 2.



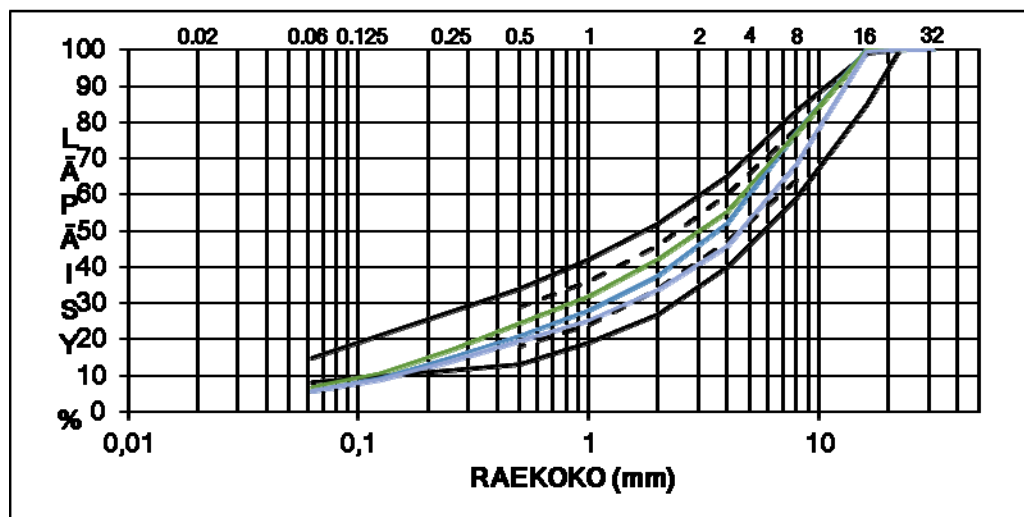
Kuva 16. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SB kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.3 Alueurakka SC

Alueurakan SC kohteessa 1 tehtiin aluevastaavan mukaan normaalia syyssorastusta. Kuvassa 17 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 18) perusteella tien pinnassa on hieman liian vähän pintaa sitovaa hienoaainesta. Näin ollen tien pinta myös näyttää aavistuksen irtonaiselta.



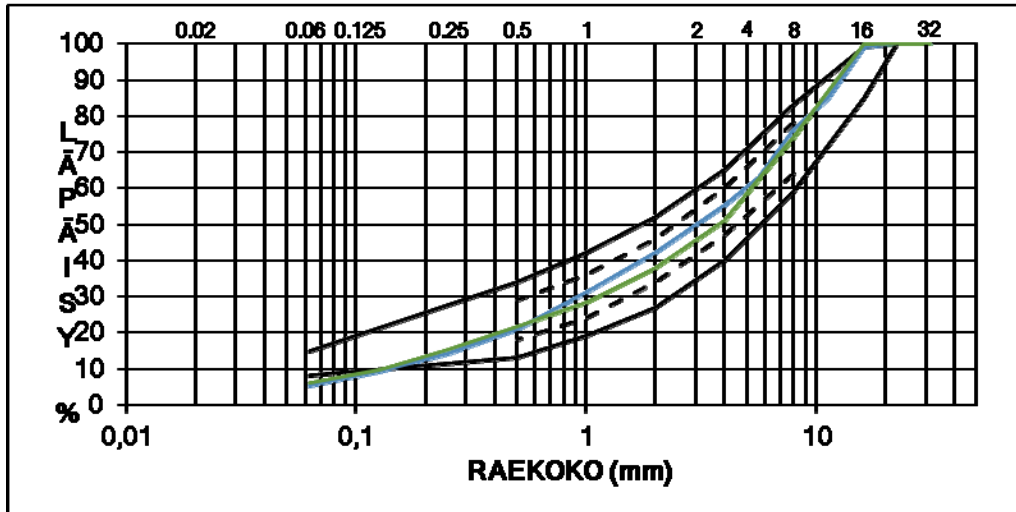
Kuva 17. Soratien pinta alueurakan SC kohteessa 1.



Kuva 18. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SC kohteessa 1 ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Kuvassa 19 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen välillä (sininen). Käyrät ovat varsin yhteneväisiä. Näin ollen on oletettavaa, että tiellä ei ole esiintynyt kelirikkoa (eli ei ole ylimääräistä pintaa sitovaa hienoainesta) ja sorastustoimenpiteen kestoikä riippuu myös materiaalin hienoaineksen laadusta. Vaikka hienoainesta aavistuksen puuttuu ohjealueeseen verrattuna, saattaa rakenne olla hyvin toimiva, mutta sorastustoimenpiteen kestoikä lyhyempi kuin optimaalisesti suunnittelemalla ja toteuttamalla saavutettava ratkaisu.





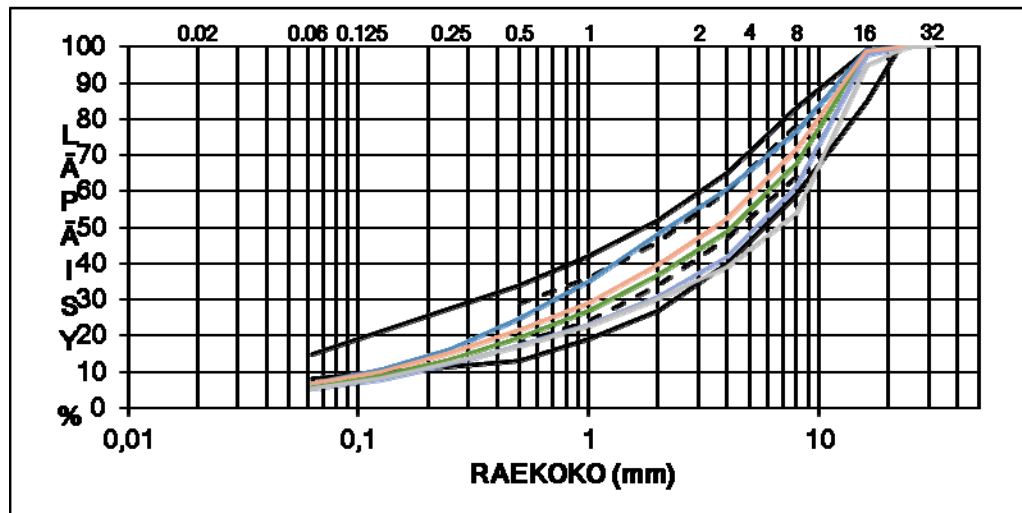
Kuva 19. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SC kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset

Alueurakan SC kohteessa 2 tehtiin aluevastaavan mukaan normaalia syyssorastusta. Kuvassa 20 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 21) perusteella tien pinnassa on hieman liian vähän pintaa sitovaa hienoainesta. Tien pinta myös näyttää huonosti sitoutuneelta. Pintaan on lisätty melko karkearakeista mursketta, kuten sorastusmurskeen tyyppirakeuskäyrästä kuvassa 22 (sininen käyrä) havaitaan. Tien pinnan rakeisuus taas on lähempänä vaadittua ohjealuetta, vaikka kohteessa ei ole tehty ainakaan tiivistystoimenpiteitä sorastuksen jälkeen (kuva 22 vihreä käyrä).

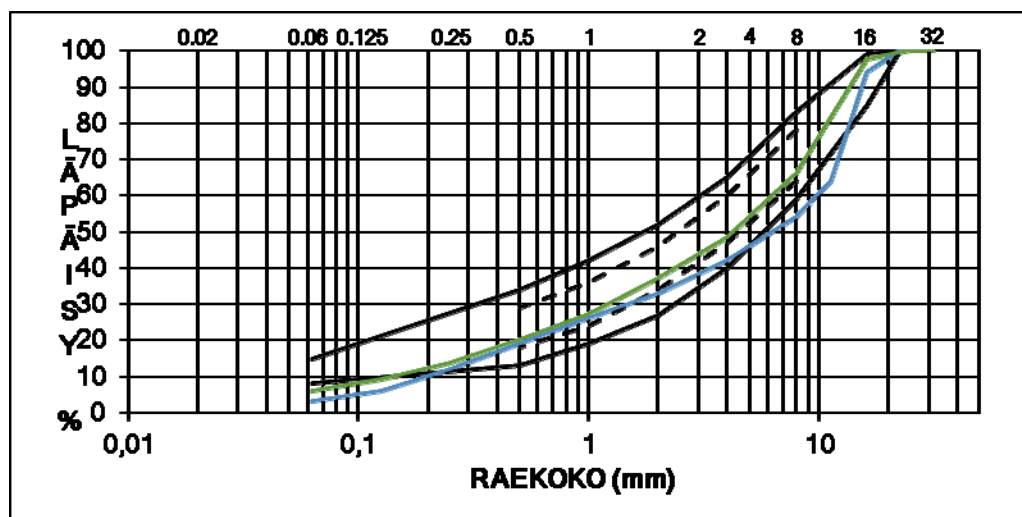


Kuva 20. Soratien pinta alueurakan SC kohteessa 2.





Kuva 21. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SC kohteessa 2 ( $n=5$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 22. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SC kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

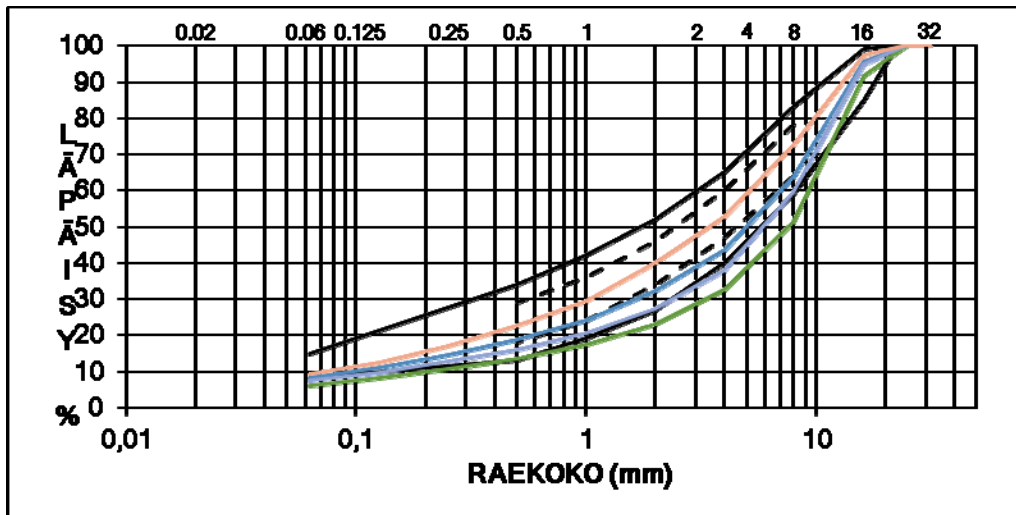
#### 4.1.4 Alueurakka SD

Alueurakan SD kohteessa 1 tehtiin aluevastaavan mukaan normaalia syyssorastusta. Kuvassa 23 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 24) perusteella tien pinnassa on osassa näytteitä hieman liian vähän pintaa sitovaa hienoaainesta. Tien pinta myös näyttää huonosti sitoutuneelta.

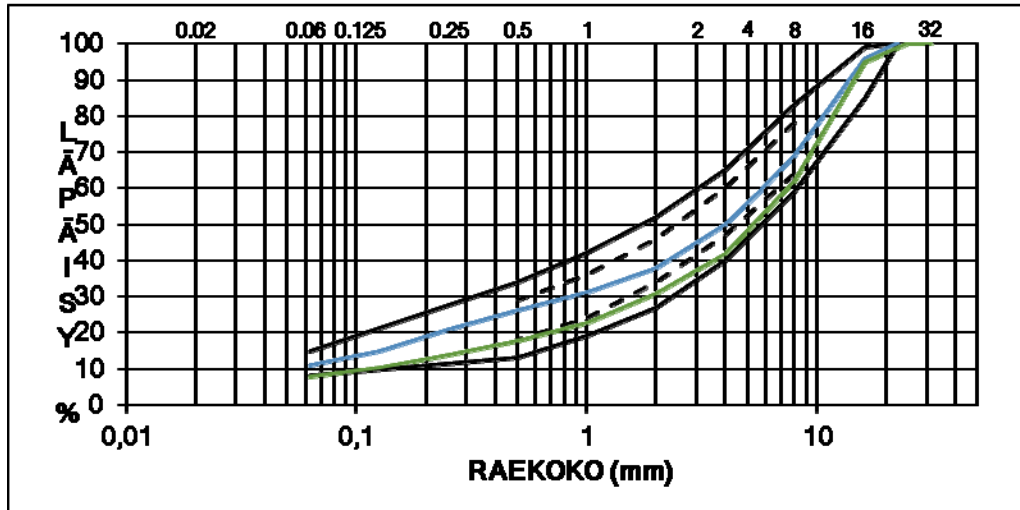
Jos tarkastellaan sorastusmurskeesta toimitettua tyyppirakeisuuskäyrää (kuva 25 sininen käyrä) ja verrataan tutkittujen näytteiden keskimääräiseen rakeisuuteen (vihreä käyrä kuvassa 25), vaikuttaa siltä, että käytetty sorastusmurske olisi jonkin verran hienorakeisempaa kuin tien pinnasta otetut näytteet. Joko käytetty murske ei ole ollut tasalaatuista, tai muokkauksen yhteydessä tien pintaan on noussut karkeampaa materiaalia alemmasta rakenteesta.



Kuva 23. Soratien pinta alueuran SD kohteessa 1.



Kuva 24. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueuran SD kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

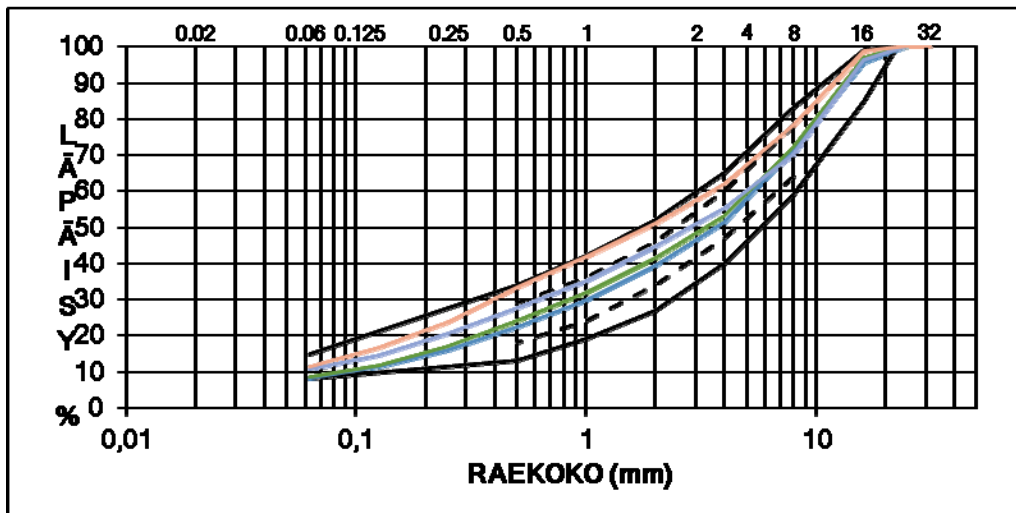


Kuva 25. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SD kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SD kohteessa 2 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 26 on esitetty tyypillinen sorastuksen tilanne näytteenottohetkellä. Sorastustoimenpiteet olivat käynnissä näytteenoton aikana. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 27) perusteella sorastusmateriaali täyttää vaatimukset.

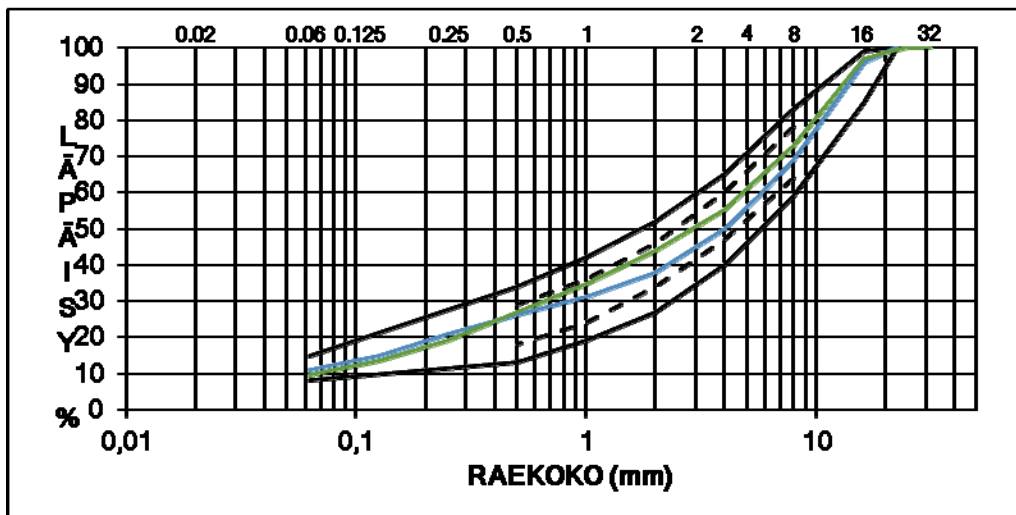


Kuva 26. Soratien pinta alueurakan SD kohteessa 2.



Kuva 27. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SD kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Kuvassa 28 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä käyrä) ja sorastusmurskeen tyyppirakeisuuden välillä (sininen käyrä). Käytetty sorastusmurske on sama kuin kohteessa 1. Raekokojakaumat vastaavat toisiaan melko hyvin. Murskeen tyyppirakeisuus on hieman karkearakeisempi. Tämä tukisi oletusta, että kohteessa 1 havaittu tien pinnan karkeus johtuisi käytettävän murskeen rakeisuuden vaihtelusta.



Kuva 28. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SD kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.5 Alueurakka SE

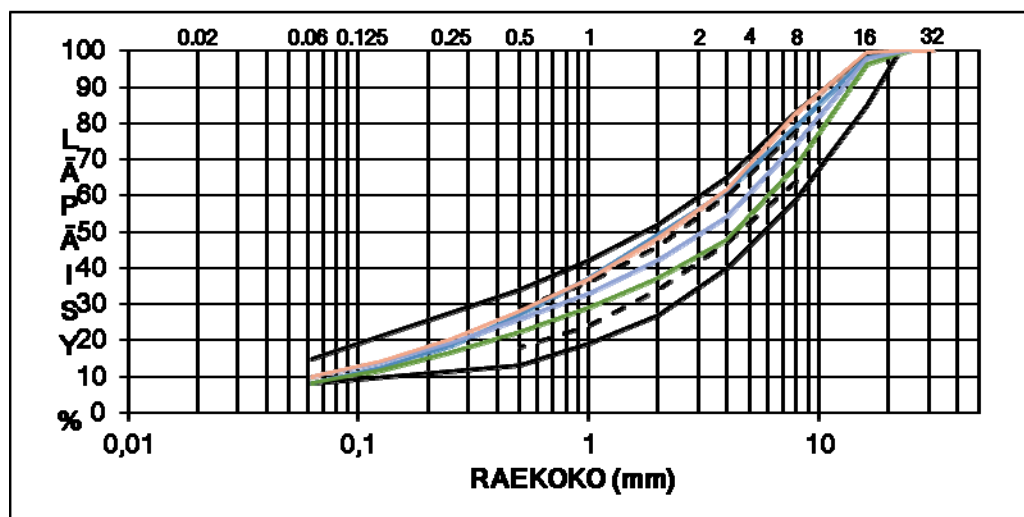
Alueurakan SE kohteessa 1 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 29 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 30) perusteella sorastuksen lopputulos täyttää rakeisuusvaatimukset. Kuvassa 31 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä käyrä) ja sorastusmurskeen tyyppirakeisuuden välillä (sininen käyrä). Raekokojakaumat ovat käy-



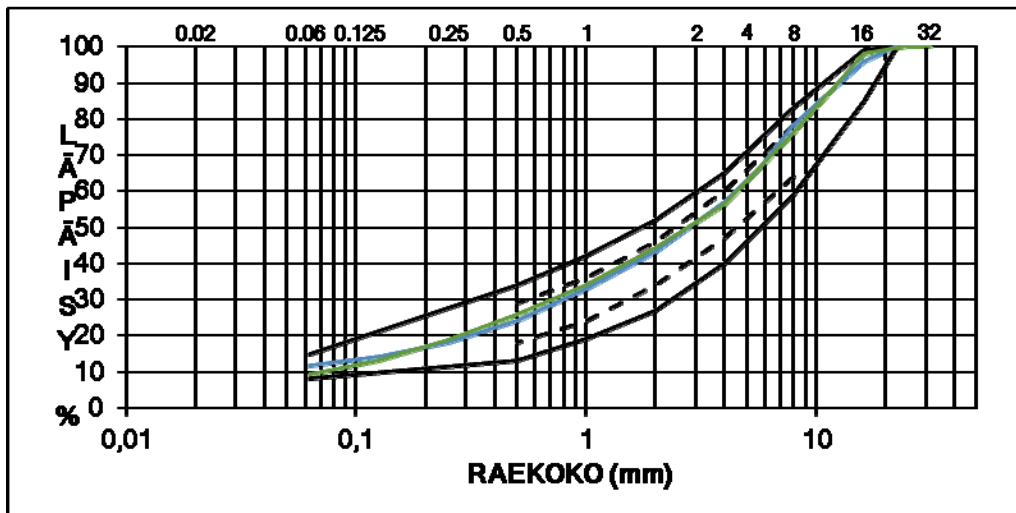
tännössä yhteneväiset. Kohde osoittaa mainiosti sen, että käytettävän sorastusmurskeen lisäksi tarvitaan huolella suunniteltuja ja tehtyjä sorastustoimenpiteitä. Kuten kuvasta 29 huomataan, on kohteessa sorastuksen lisäksi muokattu ja tiivistetty tien pinta asianmukaisesti, jolloin lopputuloksena saavutetaan tasalaatuinen ja sitoutunut kulutuskerros.



Kuva 29. Soratien pinta alueuran SE kohteessa 1.



Kuva 30. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueuran SE kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

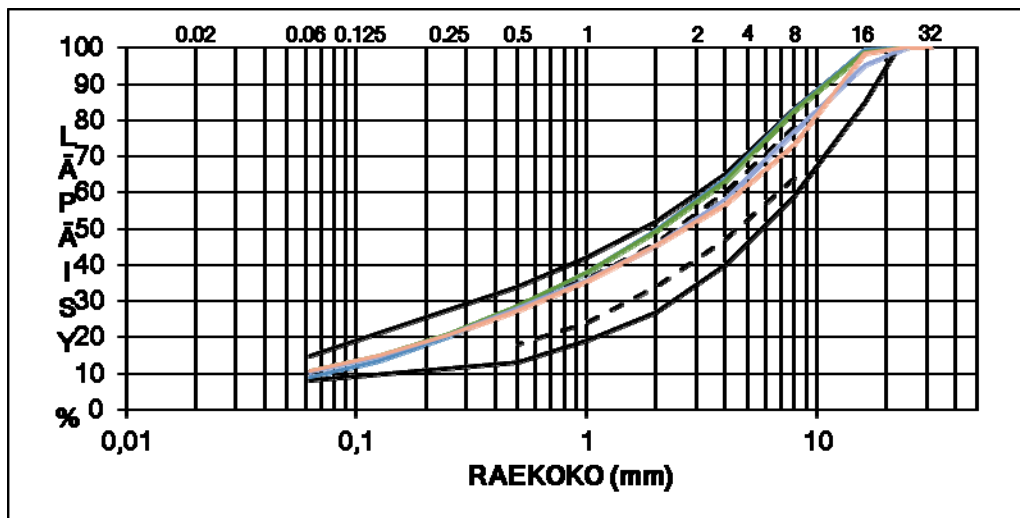


Kuva 31. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastumurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SE kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

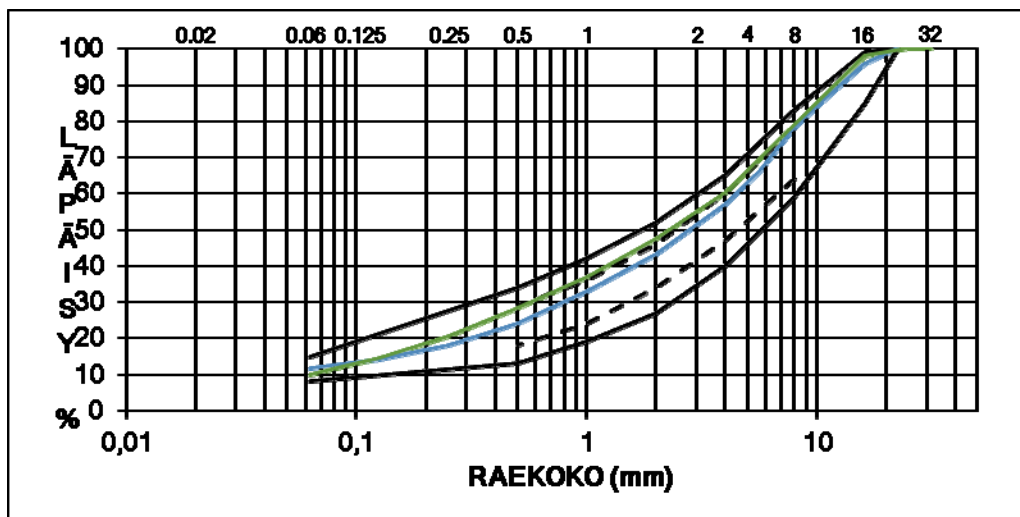
Alueurakan SE kohteessa 2 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 32 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 33) perusteella sorastuksen lopputulos täyttää vaatimukset. Kuvassa 34 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä käyrä) ja sorastumurskeen tyyppirakeisuuden välillä (sininen käyrä). Raekokojakaumat vastaavat suhteellisen hyvin toisiaan. Kuvasta 32 huomataan myös sorastuksen jälkeisen muokkauksen ja tiivistämisen merkitys. Näytteenottohetkellä vain toinen puoli tiestä oli muokattu ja tiivistetty ja toisen puolen toimenpiteet olivat käynnissä. Lopputuloksessa on merkittävä ero, kun levitetään pelkästään sorastumursketta verrattuna muokkaukseen ja tiivistykseen.



Kuva 32. Soratien pinta alueurakan SE kohteessa 2.



Kuva 33. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SE kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen O/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 34. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SE kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen O/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakassa SE käytiin tutkimassa myös kolmatta kohdetta. Tässä kohteessa sorastustoimenpiteet oli tehty urakoitsijan mukaan useamman vuosikymmenen ajan samalla moreenimurskeella. Asianmukaisista sorastustoimenpiteistä huolimatta tien pinta vaikutti kauttaaltaan jonkin verran pehmeältä. Kuvassa 35 on esitetty melko tyypillistä näkymää kyseiseltä tieosalta. Toki kuvan 35 kohdassa myös tien kuivatuksessa on toivomisen varaa. Tie näyttää urautuvan nopeasti sorastustoimenpiteiden jälkeen. Laatudokumentteja tältä kohteelta ei ollut tutkimuksen käytössä. Käytetty sorastusmurske täyttää urakoitsijan mukaan asetetut rakeisuusvaatimukset. Kuvassa 36 on esitetty tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Kuvasta nähdään, että tien pinta on liian hienorakeinen. Jos käytettävä murske on ollut alun perin ohjealueella, karkeaa kiviainesta joko häviää johonkin, tai tien pinnassa ollut vanha kulutuskerros on ollut erittäin hienorakeista.

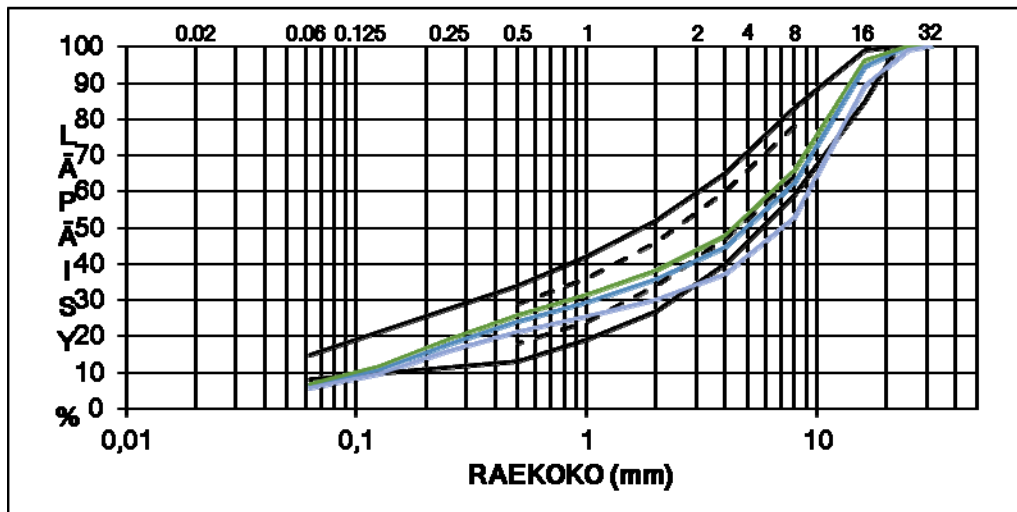








Kuva 37. Soratien pinta alueurakan SF kohteessa 1.

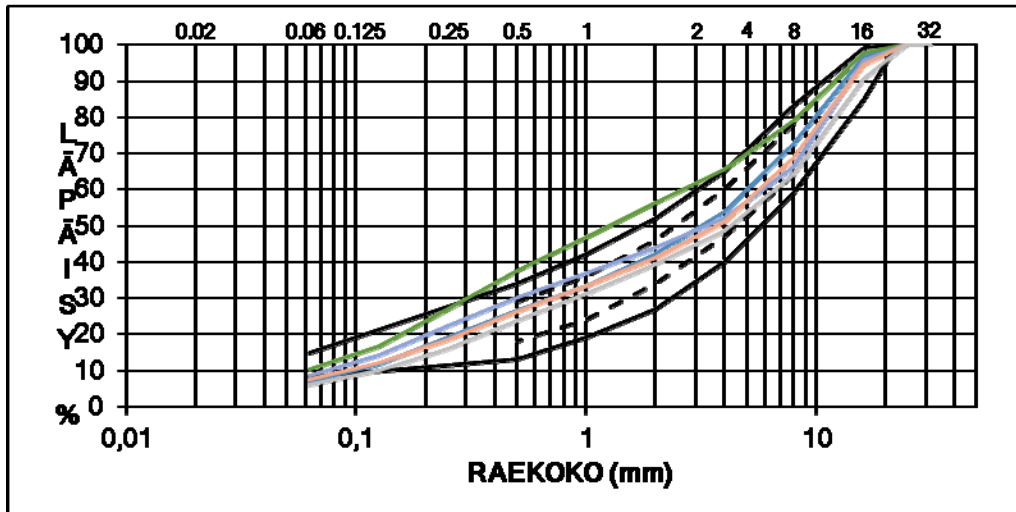


Kuva 38. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SF kohteessa 1 ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SF kohteessa 2 tehtiin aluevastaavan mukaan pintakelirikon korjausta syyssorastuksena. Kuvassa 39 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 40) perusteella kulutuskerroksessa on hieman liian vähän hienoaainesta. Toisaalta tutkittujen näytteiden perusteella tien pinta on ennen sorastusta ollut paikoin hienorakeinen. Kohteesta ei ole laatudokumentteja käytössä. Urakoitsijalta saadun tiedon perusteella sorastukseen on käytetty kelirikkomurskeeksi soveltuvaa mursketta. Kelirikkomurskeen käyrä on roikkuva, kun taas tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ovat suhteistuneita.



Kuva 39. Soratien pinta alueurakan SF kohteessa 2.



Kuva 40. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SF kohteessa 2 ( $n=5$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.7 Alueurakka SG

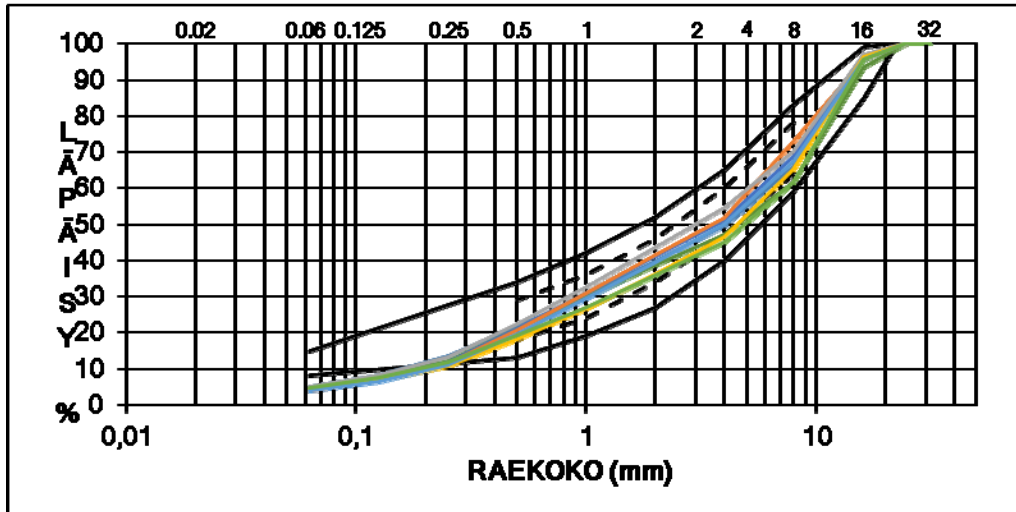
Alueurakasta SG testattiin vain yksi kohde. Kohteessa sorastettiin tietä kesällä samalla, kun vaihdettiin tierumpuja. Kuvassa 41 on esitetty tyypillinen tilanne näytteenottohetkellä. Sorastusmurskeet on levitetty tielle, mutta muokkauksia ja tiivistystä ei ole tehty. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 42) perusteella kulutuskerroksessa on hieman liian vähän hienoainesta.



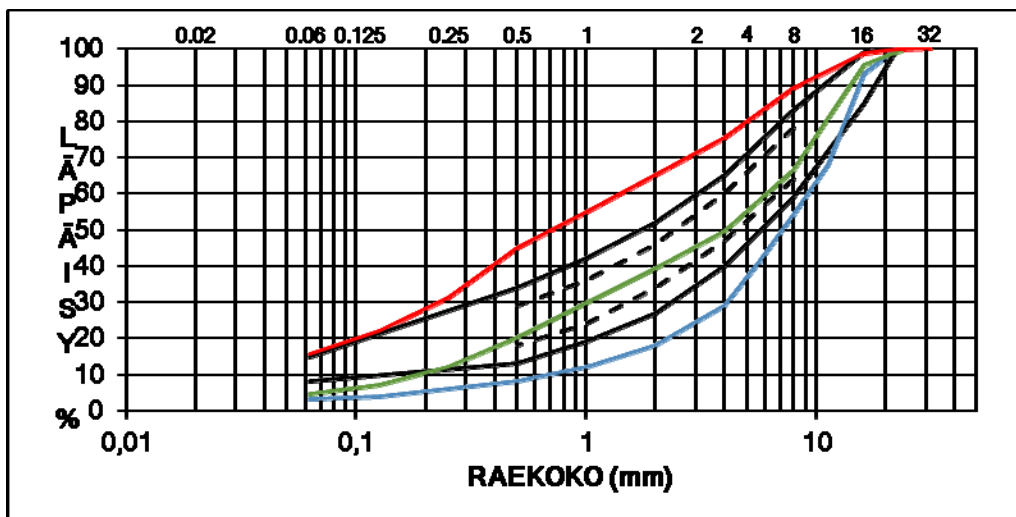
Kohteesta oli käytössä käytettävän sorastumurskeen tyyppirakeisuus ja tien pinnasta ennen sorastusta otettuja näytteitä, joiden perusteella sorastumurskeen rakeisuusalue oli valittu. Näiden raekokojakaumat ja tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus on esitetty kuvassa 43. Lopputuloksen laatu riippuu voimakkaasti riittävästä muokkauksesta, homogenisoinnista ja tiivistämisestä, mutta sitä ei pystytä arvioimaan, koska toimenpiteet olivat kesken tutkimuksen näytteenottohetkellä.



Kuva 41. Soratien pinta alueurakan SG kohteessa 1.



Kuva 42. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SG kohteessa 1 (n=8). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



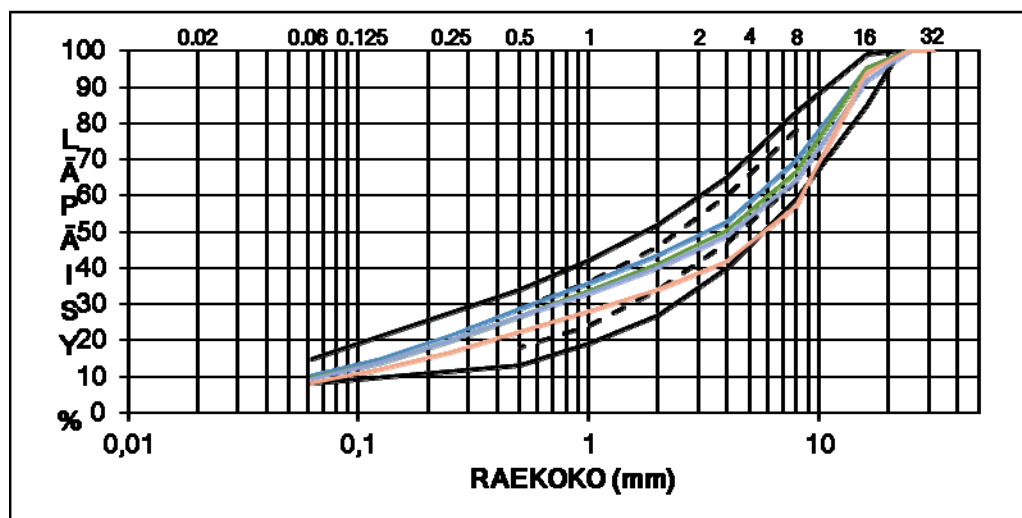
Kuva 43. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä), käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (sininen) ja ennen sorastusta tien pinnasta otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (punainen) alueurakan SG kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.8 Alueurakka SH

Alueurakan SH kohteessa 1 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 44 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 45) perusteella sorastuksen lopputulos täyttää vaatimukset. Kuvassa 46 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä käyrä) ja sorastusmurskeen tyyppirakeisuuden välillä (sininen käyrä). Raekokojakaumat vastaavat suhteellisen hyvin toisiaan. Kuvasta 44 ilmenee taas sorastuksen jälkeisen muokkauksen merkitys. Näytteenoton aikaan vain toinen puoli tiestä oli muokattu, toisen puolen toimenpiteet olivat käynnissä. Lopputuloksessa on merkittävä ero.

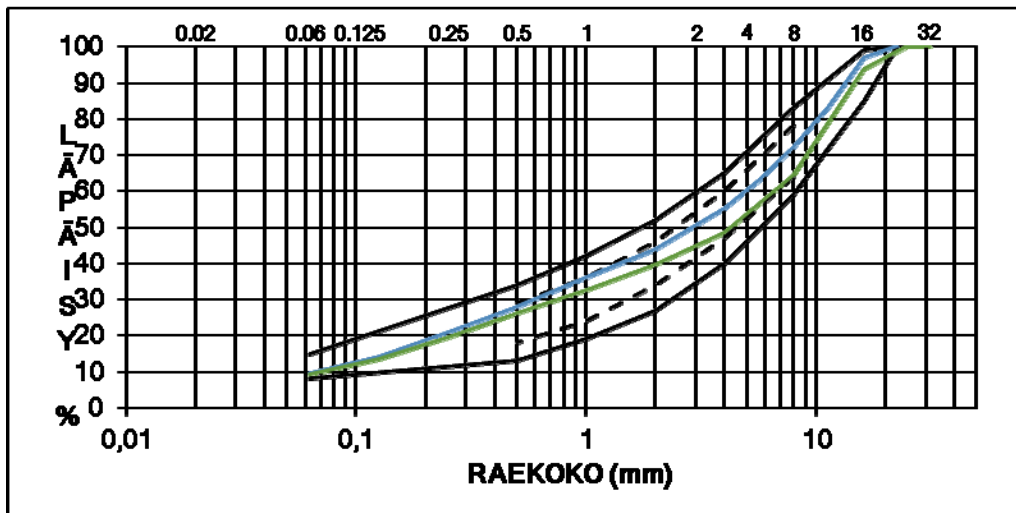


Kuva 44. Soratien pinta alueurakan SA kohteessa 1.



Kuva 45. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SH kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



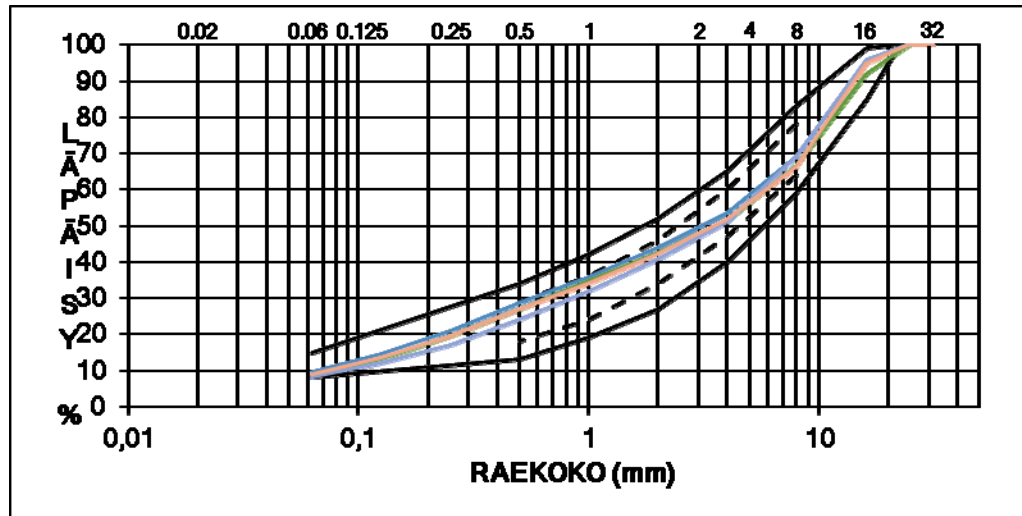


Kuva 46. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastumurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SH kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

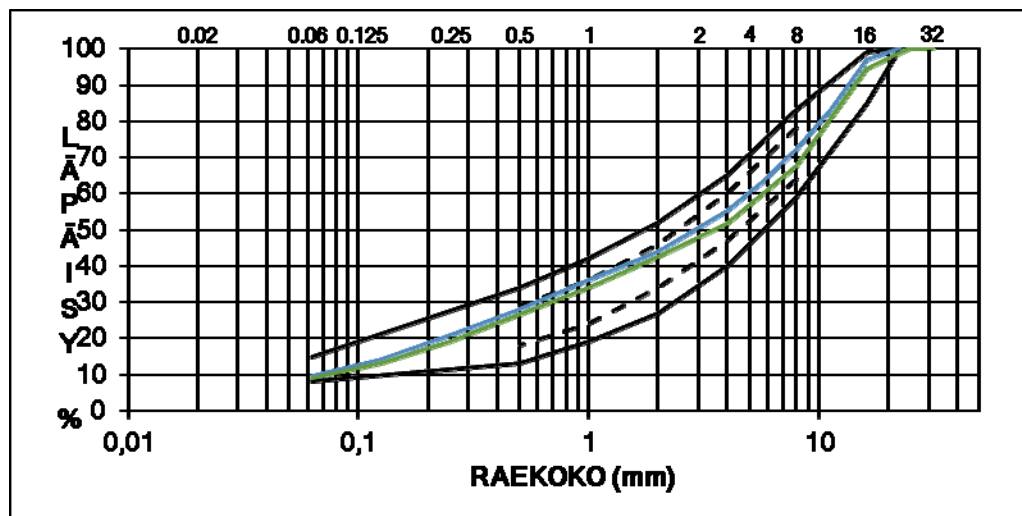
Alueurakan SH kohteessa 2 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 47 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 48) perusteella sorastuksen lopputulos täyttää vaatimukset. Kuvassa 49 on esitetty vertailu tutkittujen näytteiden keskimääräisen rakeisuuden (vihreä käyrä) ja sorastumurskeen tyyppirakeisuuden välillä (sininen käyrä). Raekokojakaumat vastaavat hyvin toisiaan. Kuvasta 47 ilmenee myös muokkauksen yhteydessä tehtävän tiivistämisen merkitys. Tässä kohteessa tiivistämistä ei ole tehty. Hyvin vähäliikenteisellä tiellä pinta tiivistyy liikenteen vaikutuksesta hitaasti. Jos kosteusolosuhteet muuttuvat merkittävästi, saattaa tien pinta jäädä irtonaiseksi ja kulutuskerroksen elinkaari lyhenee.



Kuva 47. Soratien pinta alueurakan SH kohteessa 2.



Kuva 48. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SH kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen o/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 49. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (vihreä) ja käytetyn sorastumurskeen tyyppirakeisuus (sininen) alueurakan SH kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen o/16 rakeisuusvaatimukset.

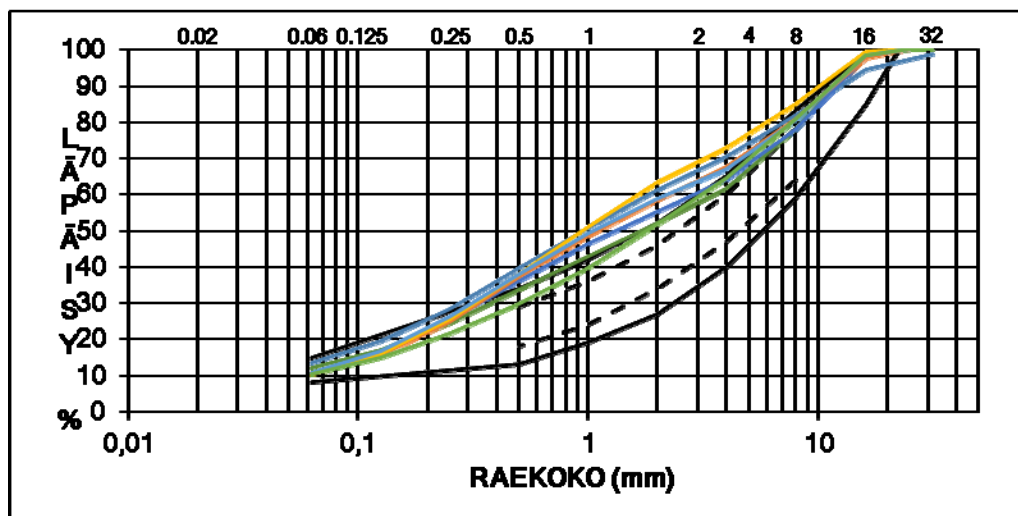
#### 4.1.9 Alueurakka SI

Alueurakasta SI testattiin vain yksi kohde. Kohteessa tehtiin sorastusta keväällä. Laatudokumentteja kohteesta ei ollut tutkimuksen käytössä. Sorastukseen on aluevas-  
taavalta saatujen tietojen mukaan käytetty vaatimukset täyttävää mursketta. Kuvassa 50 on esitetty tyypillinen tilanne sorastuksen jälkeen. Tien pinta on sorastustoimen-  
piteiden jälkeen melko irtonainen. Sorastuksen yhteydessä tien pinta tulisi myös tiiv-  
vistää. Tiivistäminen on kevät-sorastusten yhteydessä vielä kriittisempää verrattuna  
syksyllä tehtävään sorastukseen, koska yleensä keväällä sademäärä on pienempi. Täl-  
löin irtonaiseksi jäävä tien pinta ei välttämättä pääse sitoutumaan alhaisemman kos-

teuspitoisuuden takia. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 51) perusteella kulutuskerroksessa on pieni hiekkapatti.



Kuva 50. Soratien pinta alueurakan SI kohteessa 1.



Kuva 51. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SI kohteessa 1 ( $n=8$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

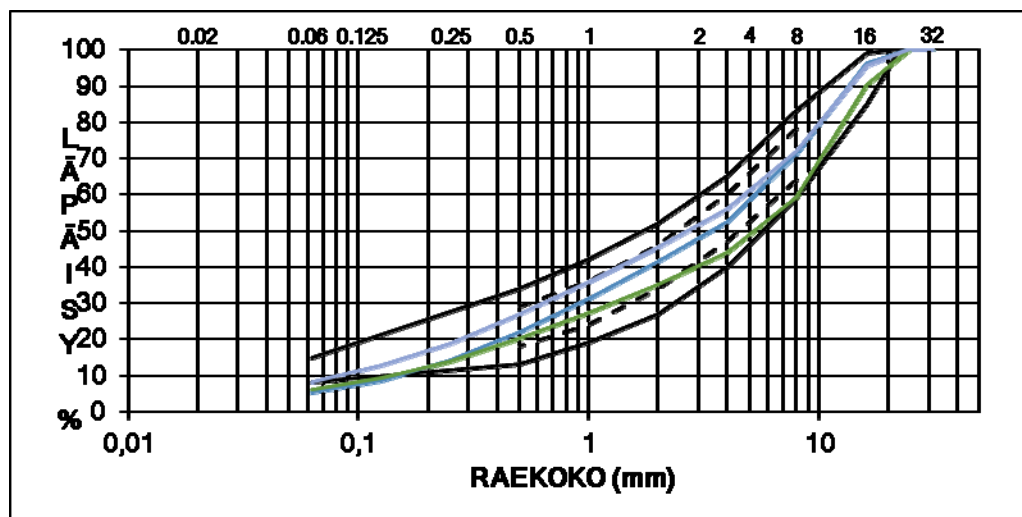
#### 4.1.10 Alueurakka SJ

Alueurakan SJ kohteessa 1 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 52 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 53) perusteella kulutuskerroksessa on jonkin verran liian vähän hienoaainesta. Kuvan 52 perusteella tien pinta näyttää kuitenkin hyvin tiivistyneeltä. Kohteesta ei ollut laitudokumentteja tutkimuksen käytössä.





Kuva 52. Soratien pinta alueurakan SJ kohteessa 1.

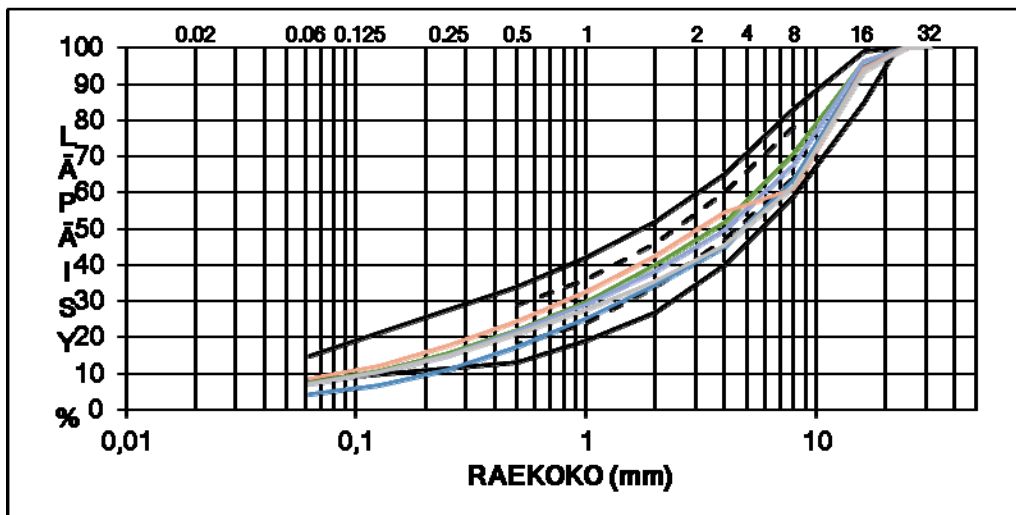


Kuva 53. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SJ kohteessa 1 ( $n=3$ ).  
Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SJ kohteessa 2 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 54 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 55) perusteella kulutuskerroksessa on jonkin verran liian vähän hienoaainesta. Muokkausta ei ollut näytteenottohetkellä tehty, ja tieosan sorastus oli vielä käynnissä. Kohteesta ei ollut laatudokumentteja tutkimuksen käytössä.



Kuva 54. Soratien pinta alueurakan SJ kohteessa 2.



Kuva 55. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SJ kohteessa 2 ( $n=5$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

#### 4.1.11 Alueurakka SK

Alueurakan SK kohteessa 1 tehtiin näytteenottohetkellä tehtyjen havaintojen perusteella pintakelirikon korjausta syksyllä. Näytteenottohetkellä vanha kulutuskerros vaikutti todella hienorakeiselta ja vetiseltä. Kuvassa 56 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tien pintaa ei ole muokattu tai tiivistetty sorastuksen jälkeen ja pinta on varsin irtonainen. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 58) perusteella kulutuskerroksessa on jonkin verran liian vähän hienoainesta ja raekokojakauman muoto on edelleen roikkuva. Kuvan 57 perusteella pintakelirikko-ongelma on ollut todellinen, ja vanha kulutuskerros on hyvin hienorakeinen. Tällaista pintaa on hankala muokata. Toisaalta karkea murske saattaa lentää ojiin ennen kuin se pääsee sitoutumaan vanhaan murskeeseen. Kohteesta ei ollut laatudokumentteja tutkimuksen käytössä.

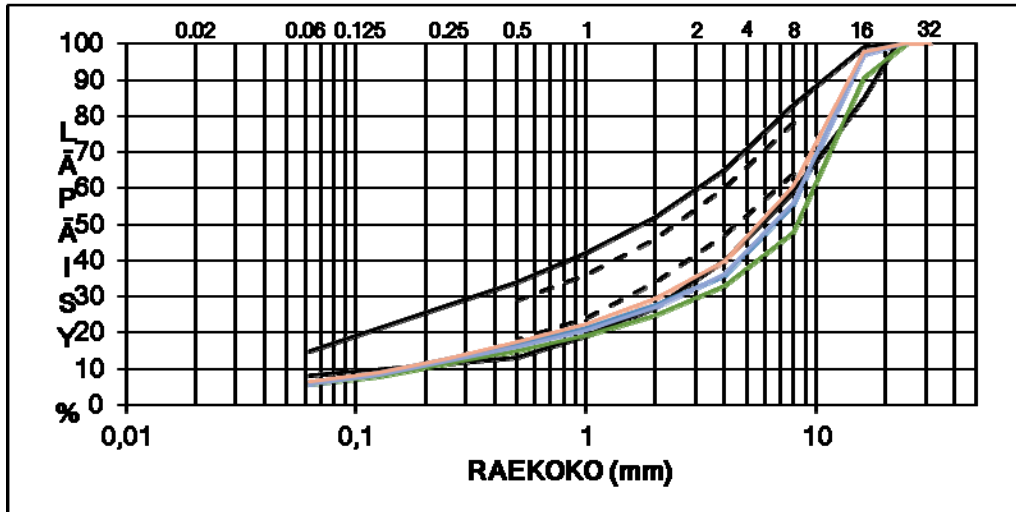




Kuva 56. Soratien pinta alueurakan SK kohteessa 1.



Kuva 57. Soratien pinta alueurakan SA kohteessa 1.



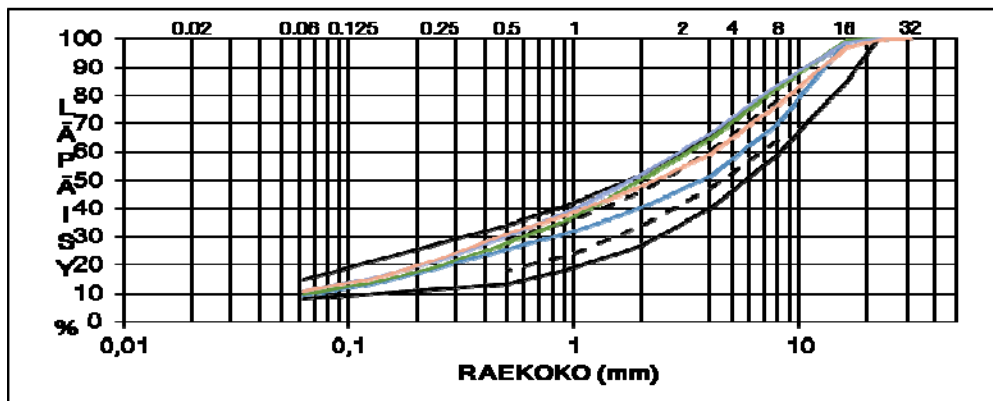
Kuva 58. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SK kohteessa 1 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakan SK kohteessa 2 tehtiin normaalia syyssorastusta. Kuvassa 59 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos. Tutkittujen rakeisuusnäytteiden (kuva 60) perusteella lopputulos on lähes vaatimustenmukainen. Kulutuskerroksen rakeisuus on pikemminkin hivenen liian hienorakeinen. Tien pinta on kuitenkin hyvin tiivistynyt. Kohteesta ei ollut laatudokumentteja tutkimuksen käytössä.



Kuva 59. Soratien pinta alueurakan SK kohteessa 2.





Kuva 60. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SK kohteessa 2 ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla esitetään soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

## 4.2 Yhteenveto kulutuskerrosmurskeista

Tutkimuksessa on aiempina vuosina tutkittu kulutuskerrosmurskeita kasalta otettujen näytteiden avulla. Vuonna 2017 päätettiin tutkia sorastuksen lopputulosta ja ottaa näytteet tien pinnasta. Riippumatta siitä, mikä on käytetyn sorastusmurskeen rakekokojakauma, tien pinnassa vallitseva tilanne on ratkaiseva. Kasalta tutkittavat näytteet edustavat vain käytettävän lisämurskeen osuutta sorastuksen lopputuloksesta. Näytteitä haettiin 11 alueurakan alueelta. Yhteensä näytteitä otettiin 21 eri tien pinnasta (taulukko 35). Lopputuloksen laatu vaihteli melko paljon. Noin puolessa tutkituista tieosista oltiin kuitenkin saatu tehtyä vaatimusten mukainen lopputulos.

Niissä kohteissa, joissa havaittiin poikkeamia, oli tyypillisesti käytetty vähän hienoa-ainesta sisältävää mursketta. Tyypillisesti murske oli myös melko karkearakeista, eli rakeisuuskäyrä oli roikkuva. Näissäkin kohteissa kulutuskerroksen rakeisuus näytti kuitenkin siirtyvän lähelle ohjealueen rakeisuutta. Näin ollen voidaan todeta, että osin kritisoitakin rakeisuusvaatimus on perusteltu, koska tien pintaan sitoutuva materiaali pyrkii rakeisuudeltaan voimassa olevan ohjealueen muotoon.

Myös varsinaisissa sorastustoimenpiteissä vaikutti olevan paljon urakkakohtaista vaihtelua. Muutamien urakoiden alueilla pyrittiin valitsemaan materiaali oikeaksi kohdekohtaisesti tai vaihtoehtoisesti valmistamaan ohjealueen mukaista mursketta. Tyypillisesti näissä urakoissa myös muokkaus- ja tiivistystoimenpiteet hoidettiin asianmukaisesti. Joissain urakoissa sorastus vaikutti lähes suunnitelmattomalta; tien pintaan vain levitettiin mursketta. Urakoiden työtapojen parantamisella voitaisiin saada myös parannettua merkittävästi kulutuskerroksen kestoikää.

Sorastusta koskevissa ohjeissa, vaatimuksissa ja koulutuksessa tulee edelleen korostaa huolellisuutta ja suunnitelmallisuutta työssä sekä myös lopputuloksen laadun varmistamista ja osoittamista kulutuskerroksesta otetuilla näytteillä. Työhön kuuluu aina irrottaa sorastettava pinta riittävän syvältä, pinnan saattaminen oikeaan muotoon, murskeen lisäys ja sekoittaminen (homogenisointi) vanhaan kulutuskerrokseen sekä lopuksi pinnan tasaaminen oikeaan muotoon ja tiivistäminen, myös syyssorastuksessa. Vaaditut laatudokumentit on aina raportoitava sääntillisesti sopimuksen mukaisesti.

Kulutuskerrostutkimuksen yhteydessä testattiin myös paikkatietopohjaista raportointikäytäntöä. Tulosten toimittaminen paikkatietopohjaisena ei merkittävästi lisää näytteenoton työmäärää. Järjestelmän avulla voitaisiin myös kerätä tietoa esim. olemassa olevista kiviainesalueista ja niiltä saatavien kiviainesten laadusta.

*Taulukko 35. Yhteenvedo soratien kulutuskerrosnäytteistä.*

Kohde	Toimenpide ja ajankohta	Hienoainespitoisuus (%)	Dokumentit	Havainnot
SA1	kelirikko, kevät	11,2	ei toimitettu	onnistunut kelirikkokorjaus
SA2	normaali, syksy	7,4	ei toimitettu	Hieman liian vähän hienoaainesta
SB1	normaali, syksy	9,3	ei toimitettu	Pintaa sidottu hienommalla murskeella jälkikäteen.
SB2	normaali, syksy	8,1	ei toimitettu	Sorastettu karkealla murskeella, ei homogenisointia, pinta irtonainen, hienoainespitoisuus vaihtelee paljon
SC1	normaali, syksy	6	ok	Liian vähän hienoaainesta, pinta hieman irtonainen
SC2	normaali, syksy	5,8	ok	Sorastettu vähän hienoaainesta sisältävällä murskeella, tien pinta jäänyt irtonaiseksi
SD1	normaali, syksy	7,1	ok	Käytetty sorastusmurske dokumenttien mukaan vaatimusten mukaista, tien pinta irtonainen ja hieman liian vähän hienoaainesta.
SD2	normaali, syksy	9,6	ok	Toimenpiteet kesken näytteenottohetkellä, materiaali ok.
SE1	normaali, syksy	8,3	ok	Materiaali ok, toimenpiteet ok, lopputulos hyvä
SE2	normaali, syksy	10	ok	Materiaali ok, toimenpiteet ok, lopputulos hyvä
SE3	normaali, syksy	10,4	ei toimitettu	Moreenimurske, liian hienorakeinen
SF1	runkokelirikko, syksy	6,2	ei toimitettu	Tehty runkokelirikon korjausta, ojista perattu materiaalia. Hienoainespitoisuus liian alhainen, mutta pinta näyttää sitoutuneelta
SF2	kelirikko, syksy	7,8	ei toimitettu	Kelirikkokorjaus karkeammalla murskeella. Hienoainespitoisuus keskimäärin hieman liian pieni, hienoainespitoisuus vaihtelee
SG1	normaali, kesä	4,5	ok	Toimenpiteet kesken näytteenottohetkellä. Materiaali suhteutettu vertaamalla tien pinnan tilannetta ennen sorastusta. Lopputulos ei tutkimuksen tiedossa.
SH1	normaali, syksy	9,2	ok	Materiaali ok, lopputulos ok.
SH2	normaali, syksy	9,2	ok	Materiaali ok, toimenpiteet kesken näytteenottohetkellä, joten tien pinta vielä irtonainen

SI1	normaali, kevät	10,8	ei toimitettu	Kevätsorastus, näytteiden perusteella tien pinnassa hiekkapatti, eli karkeaa runkoainesta puuttuu. Tien pinta irtonainen.
SJ1	normaali, syksy	6,5	ei toimitettu	Liian vähän hienoainesta, tien pinta näyttää melko hyvin sitoutuneelta ja kostealta.
SJ2	normaali, syksy	6,9	ei toimitettu	Vähän liian vähän hienoainesta, tien pinta osin irtonainen.
SK1	kelirikko, syksy	5,9	ei toimitettu	Vanha kulutuserkerros hienorakeinen ja märkä, lisämurske todella karkeaa, ei homogenosoitu, tien pinta irtonainen, näytteissä liian vähän hienoainesta.
SK2	normaali, syksy	9,9	ei toimitettu	Lopputulos ok.

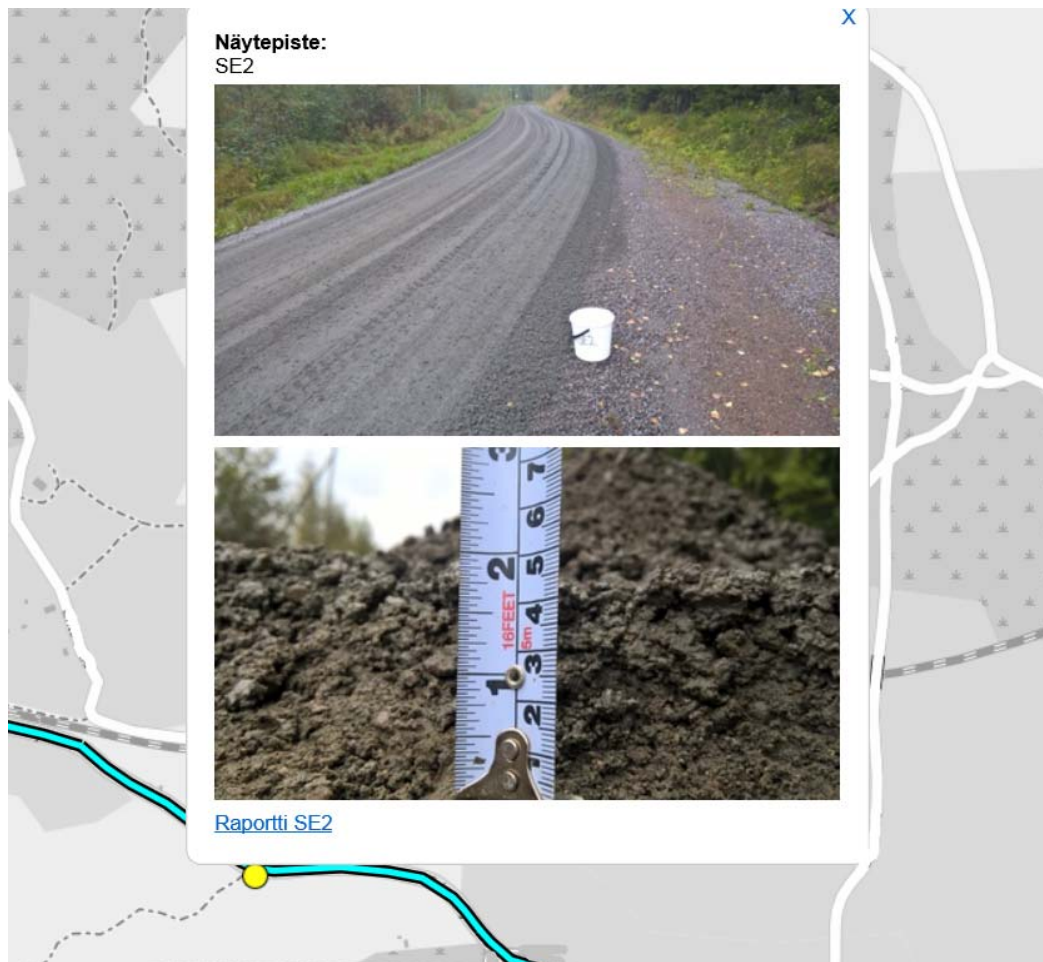
### 4.3 Paikkatietopohjainen raportointijärjestelmä

Sorateiden kulutuserrostutkimuksen yhteydessä pilotoitiin paikkatietoon pohjautuvaa raportointijärjestelmää. Sorastetut tieosat on kuvattu, ja videon GPS-tietojen avulla on määritetty kartalle ne tieosat, jotka kuuluivat tutkimuksen piiriin. Vastavasti näytteenottopisteet on valokuvattu ja kuviin on tallennettu GPS-tieto. Molemmat tiedot on tallennettu karttapohjalle (kuva 61).



Kuva 61. Karttanäkymä yksittäisen urakan alueelta. Sorastetut tieosat näkyvät viivoina kartalla ja näytteenottopisteet pisteinä.

Jokaisesta näytteenottopisteestä on otettu valokuvat (kuva 62), joissa näkyy yleiskuva soratien pinnasta näytteenottopisteessä. Lisäksi on kuva, josta voi tarkistaa kulutuserroksen paksuuden. Kyseisen näytteenottopisteen tutkittu raekokojakauma on linkitetty aukeavaan kuvanäkymään raporttina. Raportti aukeaa kuvien alla olevasta linkistä. Toistaiseksi karttasovellus on suojattu salasanaalla ja se on ainoastaan tilaajien käytössä.



Kuva 62. Yksittäisestä näytteenottopisteestä saatavat tiedot.



## 5 Raidesepelit

Vuonna 2017 raidesepelinäyitteitä haettiin viidestä kohteesta. Kaikki testatut raidesepelit kuuluvat laatudokumenttiensa perusteella rakeisuusluokkaan F ja iskunkestävyydeltään luokkaan L<sub>ARB12</sub>. Raidesepeleistä otettiin kolme rinnakkaisnäytettä, joista tehtiin kappaleessa 5.1. kuvatut testit. Testitulokset on esitetty kappaleessa 5.2.

### 5.1 Tutkimusmenetelmät

Raidesepeli luokitellaan raekokojakautuman, muotoarvon ja mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Suomessa on käytössä kolme tuotestandardin SFS-EN 13450 mukaista rakeisuusluokkaa, joista karkeinta luokkaa F käytetään pääradoilla ja luokkia C ja E kuorma- ja vaihtotyöalueilla sekä vähäliikenteisillä radoilla. Raidesepelin mekaaniset ominaisuudet testataan Los Angeles -testillä standardin SFS-EN 1097-2 liitteen A mukaisesti ja micro-Deval-testillä standardin SFS-EN 1097-1 liitteen A mukaisesti. LA-testi mittaa ensisijaisesti iskunkestävyyttä ja micro-Deval-testi mittaa hiovan kulutuksen kestoa. Raidesepelin mekaaniset ominaisuudet testataan lajitteesta 31,5/50 mm, ja yksittäistestinäytteen koko on 10 kg. Molemmissa testeissä testitulos lasketaan pienemmäksi kuin 1,6 mm hienontuneen aineksen prosentuaalisena osuutena testinäytteen massasta. Tulos pyöristetään kokonaisluvuksi. Raidesepelistä tehtävän micro-Deval-testin erityispiirteenä on se, että testissä ei käytetä teräskuulia, vaan myllyyn lisätään vain vettä. Raidesepelin luokituksessa käytetään mekaanisista ominaisuuksista merkintöjä L<sub>ARB</sub> ja M<sub>DERB</sub>. Suomessa on käytössä LA-luvulle kolme luokkaa (L<sub>ARB12</sub>, L<sub>ARB16</sub> ja L<sub>ARB20</sub>) ja yksi luokka micro-Deval-arvolle (M<sub>DERB 11</sub>).

Raidesepelin muoto-ominaisuuksia mitataan standardin SFS-EN 933-4 mukaisella testillä. Testissä mitataan sepelirakeiden pitkulaisuutta pituuden (L) ja paksuuden (E) välisenä suhteena. Rakeet, joiden L/E on > 3, tulkitaan pitkulaisiksi. Pitkulaisten rakeiden prosentuaalinen osuus koko näytteen massasta on muotoarvo SI. Tulos ilmoitetaan kokonaislukuna. Muotoarvon vaatimusluokka SI<sub>20</sub> tarkoittaa, että enintään 20 prosenttia sepelin rakeista on pitkulaisia.

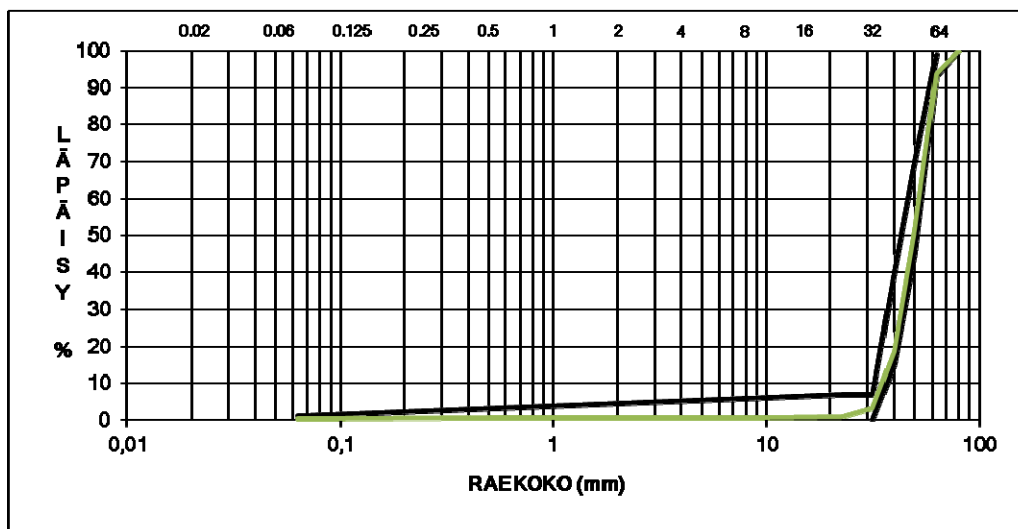
Raidesepelirakeiden muoto-ominaisuuksia arvioidaan myös mittaamalla pituudeltaan yli 100 mm rakeiden prosentuaalista osuutta 40 kg testinäytteestä. Tulos ilmoitetaan kokonaislukuna. Tuotestandardin SFS-EN 13450 mukaiset luokat ovat 4 %, 6 %, 8 %, 12 % ja > 12 %. Suomessa ei ole vielä asetettu vaatimusta ko. ominaisuudelle, tosin kansalliseen soveltamisstandardiin SFS 7007 (2016) on vaatimussuosituksiksi kirjattu 12 %. Suomessa vaatimus yli 100 mm rakeiden määrästä on ollut käytössä aiemmin vuosina 2001–2004.

Raidesepelin mekaaniset ja geometriset ominaisuudet ovat merkittäviä tukikerroksen toiminnan ja kestoajan kannalta. Tukikerrokseen kohdistuu liikennekuormituksen lisäksi kunnossapidon (tukemisen) aiheuttamaa kuormitusta, joka hienontaa kiviainesta merkittävästi. Toisin sanoen huono sepelin laatu voi heikentää tukikerroksen kestoikää merkittävästi, koska huono laatu aiheuttaa ylimääräistä kunnossapitoa.

## 5.2 Testitulokset

### 5.2.1 Sepeli RSA

Sepelin RSA kolmen tutkitun näytteen keskimääräinen raekokojakauma on esitetty kuvassa 63. Yksittäisten näytteiden seulontatulokset on esitetty taulukossa 36. Taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Sepelin kelpoisuuden arviointi on kuitenkin tehty keskimääräisen raekokojakauman perusteella, vaikka yksittäisissä näytteissä olisikin ollut poikkeamia. Raidesepelin RSA rakeisuus täyttää luokan F vaatimukset.



Kuva 63. Raidesepelin RSA keskimääräinen rakeisuus vihreällä ( $n=3$ ). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty radan tukikerroksen rakeisuusluokan F alue.

Taulukko 36. Raidesepelistä RSA tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja keskimääräinen raekokojakauma. Oranssilla merkityt tulokset poikkeavat vaatimuksesta.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				Vaatimus
	RSA1	RSA2	RSA3	Keskiarvo	
80	100	100	100	100	100
63	92	98	90	93	93..99
50	49	60	45	52	45..70
40	16	26	14	18	15..40
31,5	3	4	2	3	0..7
22,4	1	1	1	1	0..7
8	1	1	1	1	-
1	1	1	1	1	-
0,5	1	1	1	1	-
0,063	0,4	0,4	0,4	0,4	0..1

Raidesepelin RSA geometrysten ominaisuuksien testien tulokset on esitetty taulukossa 37. Muotoarvon osalta taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Muotoarvotestin osalta kelpoisuus on arvioitu keskiarvon perusteella. Muotoarvotestissä havaittiin poikkeama yhdessä tutkitussa näytteessä, mutta testitulosten keskiarvo on tasan 20, joten sepeli täyttää luokan SI<sub>20</sub> vaatimukset.

Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta ei tällä hetkellä Suomessa rajoiteta. Raidesepelissä RSA on testien perusteella merkittävä määrä pitkiä rakeita. Raidesepelistandardissa suurin luokkaraja yli 100 mm rakeiden osuudelle on enintään 12 %. Testitulosten perusteella raidesepelissä RSA  $\geq$  100 mm rakeita oli keskimäärin yli 20 %.

*Taulukko 37. Raidesepelistä RSA tutkittujen näytteiden geometriset ominaisuudet.*

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RSA1	19	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>
	RSA2	26			
	RSA3	15			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RSA1	21	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RSA2	19			
	RSA3	24			

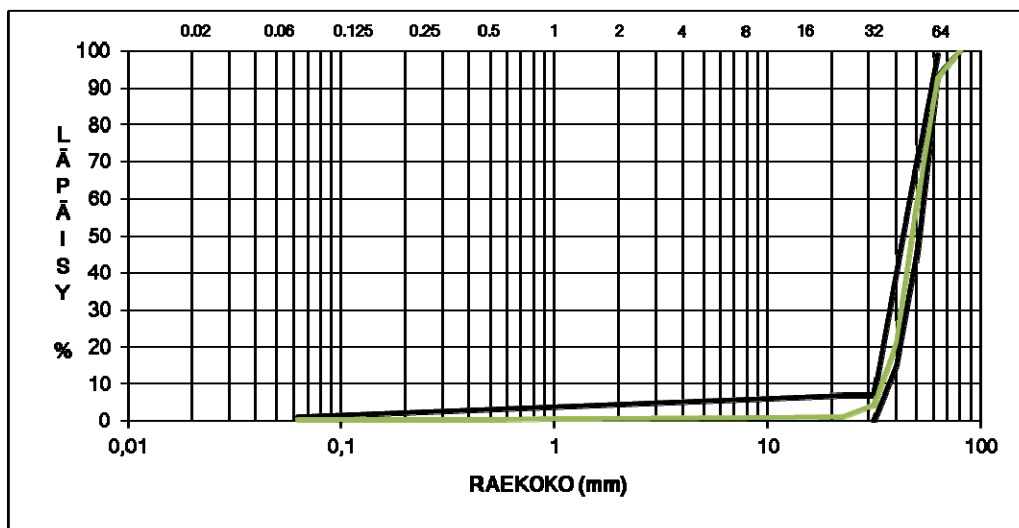
Raidesepelistä RSA määritettiin materiaalin vedenimeytyminen ja iskunkestävyys kolmesta rinnakkaisnäytteestä ja kulutuskestävyys yhdellä testillä. Tulokset on esitetty taulukossa 38. Testitulosten perusteella raidesepeli RSA täyttää lujuus- ja vedenimeytymisominaisuuksien osalta vaatimukset.

*Taulukko 38. Raidesepelistä RSA tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.*

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RSA1	10	LAR <sub>B</sub> 12	LAR <sub>B</sub> 12	LAR <sub>B</sub> 12
	RSA2	10			
	RSA3	10			
Micro-Deval	RSA4	6	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11
Vedenimeytyminen	RSA1	0,1	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %
	RSA2	0,1			
	RSA3	0,1			

## 5.2.2 Sepeli RSB

Sepelin RSB kolmen tutkitun näytteen keskimääräinen raekokojakauma on esitetty kuvassa 64. Yksittäisten näytteiden seulantatulokset on esitetty taulukossa 39. Taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli poikkeamia vaatimukseen on havaittu. Sepelin kelpoisuuden arviointi on kuitenkin tehty keskimääräisen raekokojakauman perusteella, vaikka yksittäisissä näytteissä olisikin ollut poikkeamia. Raidesepeli RSB täyttää luokan F vaatimukset raekokojakauman osalta.



Kuva 64. Raidesepelin RSB keskimääräinen rakeisuus vihreällä ( $n=3$ ). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty radan tukikerroksen rakeisuusluokan F alue.

Taulukko 39. Raidesepelistä RSB tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja keskimääräinen raekokojakauma.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RSB1	RSB2	RSB3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	90	92	96	93	93..99
50	57	59	60	59	45..70
40	18	22	23	21	15..40
31,5	4	4	5	4	0..7
22,4	1	1	1	1	0..7
8	1	1	0	1	
1	0	1	0	1	
0,5	0	0	0	0	
0,063	0,4	0,3	0,3	0,3	0..1

Raidesepelin RSB geometristen ominaisuuksien testien tulokset on esitetty taulukossa 40. Muotoarvon osalta taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Muotoarvotestin osalta kelpoisuus on arvioitu keskiarvon perusteella. Muotoarvotestissä havaittiin poikkeama kaikissa näytteissä, testitulosten keskiarvo on tasan 23, eli sepeli ei täytä luokan SI<sub>20</sub> vaatimuksia. Testitulosten perusteella sepeli kuuluu luokkaan SI<sub>25</sub>.

Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta ei tällä hetkellä Suomessa rajoiteta. Myös raidesepelissä RSB oli testitulosten perusteella yli 20 %  $\geq 100$  mm rakeita.

Taulukko 40. Raidesepelistä RSB tutkittujen näytteiden geometriset ominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RSB1	25	SI <sub>25</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>
	RSB2	21			
	RSB3	24			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RSB1	25	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RSB2	22			
	RSB3	25			

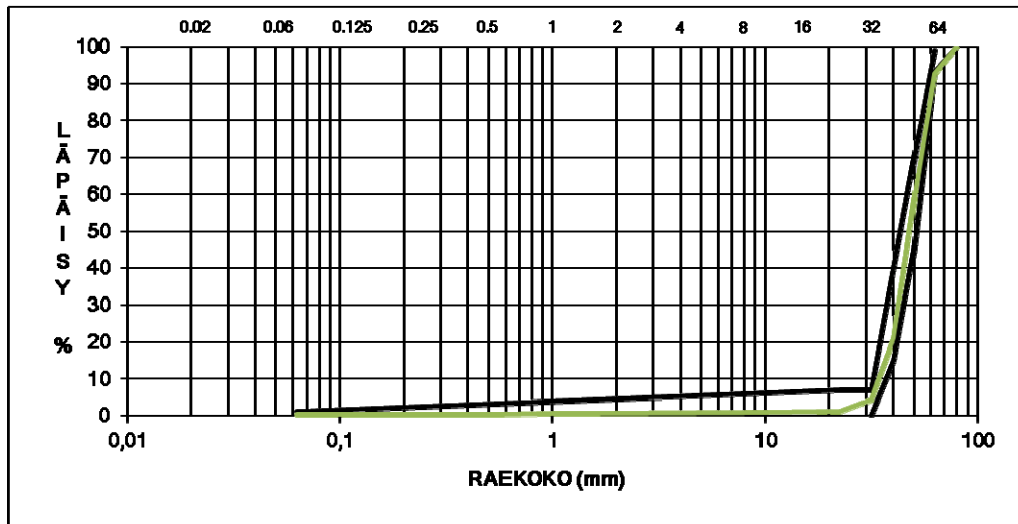
Raidesepelistä RSB testattiin materiaalin vedenimeytyminen ja iskunkestävyys kolmesta rinnakkaisnäytteestä ja kulutuskestävyys yhdellä testillä. Tulokset on esitetty taulukossa 41. Testitulosten perusteella raidesepeli RSB ei täytä iskunkestävyyden osalta luokan LA<sub>RB12</sub> vaatimuksia. Kulutuskestävyyden ja vedenimeytymisominaisuuksien osalta vaatimukset täyttyvät.

Taulukko 41. Raidesepelistä RSB tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RSB1	14	LA <sub>RB14</sub>	LA <sub>RB12</sub>	LA <sub>RB12</sub>
	RSB2	13			
	RSB3	13			
Micro-Deval	RSB4	10	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11
Vedenimeytyminen	RSB1	0,1	W <sub>cm</sub> < 0,5 %	W <sub>cm</sub> < 0,5 %	W <sub>cm</sub> < 0,5 %
	RSB2	0,1			
	RSB3	0,1			

### 5.2.3 Sepeli RSC

Sepelin RSC kolmen tutkitun näytteen keskimääräinen raekokojakauma on esitetty kuvassa 65. Yksittäisten näytteiden seulontatulokset on esitetty taulukossa 42. Taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Sepelin kelpoisuuden arviointi on tehty keskimääräisen raekokojakauman perusteella, vaikka yksittäisissä näytteissä olisikin ollut poikkeamia. Raidesepeli RSC täyttää raekokojakauman osalta luokan F vaatimukset.



Kuva 65. Raideseppelin RSC keskimääräinen rakeisuus vihreällä ( $n=3$ ). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty radan tukikerroksen rakeisuusluokan  $F$  alue.

Taulukko 42. Raidesepeleistä RSC tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja keskimääräinen raekokojakauma.

	Seulan läpäisy (%)				
Seula (mm)	RSC1	RSC2	RSC3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	99	99	94	97	93..99
50	70	75	73	72	45....70
40	29	34	35	33	15..40
31,5	8	8	11	9	0..7
22,4	3	3	3	3	0..7
8	2	1	1	2	-
1	2	1	1	1	-
0,5	2	1	1	1	-
0,063	1,3	0,7	0,6	0,8	0..1

Raideseppelin RSC geometrysten ominaisuuksien testien tulokset on esitetty taulukossa 43. Taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Muotoarvotestin osalta kelpoisuus on arvioitu keskiarvon perusteella. Muotoarvotestissä havaittiin poikkeama kaikissa näytteissä. Testitulosten keskiarvo on tasan 28, joten sepele ei täytä luokan  $SI_{20}$  vaatimuksia. Testitulosten perusteella sepele kuuluu luokkaan  $SI_{30}$ .

Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta ei tällä hetkellä Suomessa rajoiteta. Raidesepeleissä  $RSC \geq 100$  mm pitkien rakeiden osuus on pienempi kuin edellä esitellyissä tuotteissa. Silti sen muotoarvo on huonoin testatuista sepeleistä.



Taulukko 43. Raidesepelistä RSC tutkittujen näytteiden geometriset ominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RSC1	29	SI <sub>30</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>
	RSC2	27			
	RSC3	29			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RSC1	16	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RSC2	16			
	RSC3	21			

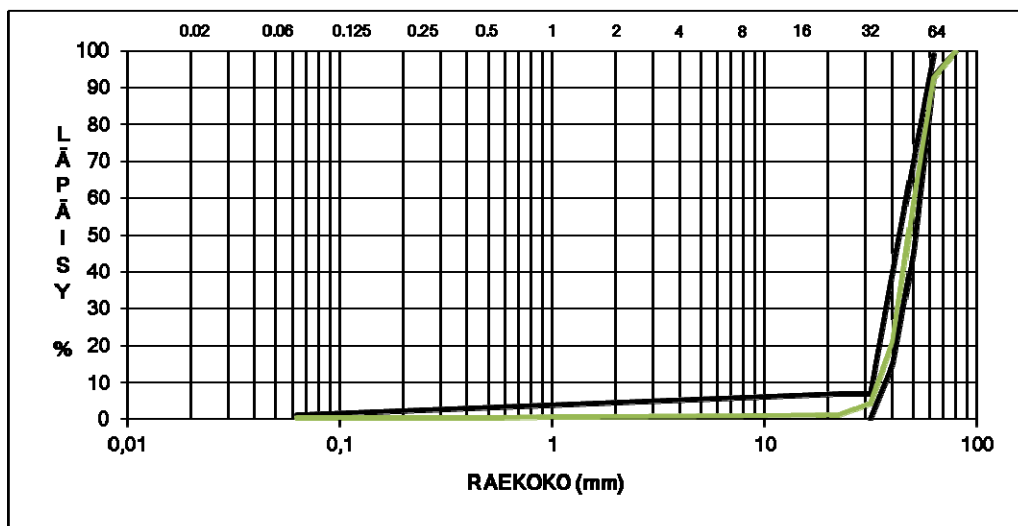
Raidesepelistä RSC testattiin materiaalin vedenimeytyminen ja iskunkestävyys kolmesta rinnakkaisnäytteestä ja kulutuskestävyys yhdestä näytteestä. Tulokset on esitetty taulukossa 44. Testitulosten perusteella raidesepeli RSC täyttää lujuus- ja vedenimeytymisominaisuuksien osalta vaatimukset.

Taulukko 44. Raidesepelistä RSC tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RSC1	9	LAR <sub>B</sub> 12	LAR <sub>B</sub> 12	LAR <sub>B</sub> 12
	RSC2	10			
	RSC3	9			
Micro-Deval	RSC4	7	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11
Vedenimeytyminen	RSC1	0,1	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %
	RSC2	0,1			
	RSC3	0,1			

#### 5.2.4 Sepeli RSD

Sepelin RSD kolmen tutkitun näytteen keskimääräinen raekokojakauma on esitetty kuvassa 66. Yksittäisten näytteiden seulontatulokset on esitetty taulukossa 45. Taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli poikkeamia vaatimuksiin on havaittu. Sepelin kelpoisuuden arviointi on kuitenkin tehty keskimääräisen raekokojakauman perusteella, vaikka yksittäisissä näytteissä olisikin ollut poikkeamia. Raidesepeli RSD täyttää luokan F vaatimukset raekokojakauman osalta.



Kuva 66. Raidesepelin RSD keskimääräinen rakeisuus ( $n=3$ ). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty radan tukikerroksen rakeisuusluokan  $F$  alue.

Taulukko 45. Raidesepelistä RSD tutkittujen näytteiden raekojakaumat ja keskimääräinen raekojakauma.

	Seulan läpäisy (%)				
Seula (mm)	RSD1	RSD2	RSD3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	97	99	98	98	93..99
50	66	71	67	68	45..70
40	25	27	27	27	15..40
31,5	6	7	7	6	0..7
22,4	1	1	1	1	0..7
8	0	0	0	0	-
1	0	0	0	0	-
0,5	0	0	0	0	-
0,063	0,2	0,2	0,3	0,2	0..1

Raidesepelin RSD geometrinen ominaisuuksien testien tulokset on esitetty taulukossa 46. Muotoarvon osalta taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli poikkeamia vaatimuksiin on havaittu. Muotoarvotestin osalta kelpoisuus on arvioitu keskiarvon avulla. Muotoarvotestissä havaittiin poikkeama kaikissa näytteissä. Testitulosten perusteella sepele kuuluu luokkaan  $SI_{30}$ .

Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta ei tällä hetkellä Suomessa rajoiteta. Testitulosten perusteella raidesepelissä  $RSD \geq 100$  mm rakeita oli keskimäärin noin 20 %.

Taulukko 46. Raidesepelistä RSD tutkittujen näytteiden geometriset ominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RSD1	25	SI <sub>30</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>
	RSD2	26			
	RSD3	26			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RSD1	19	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RSD2	20			
	RSD3	19			

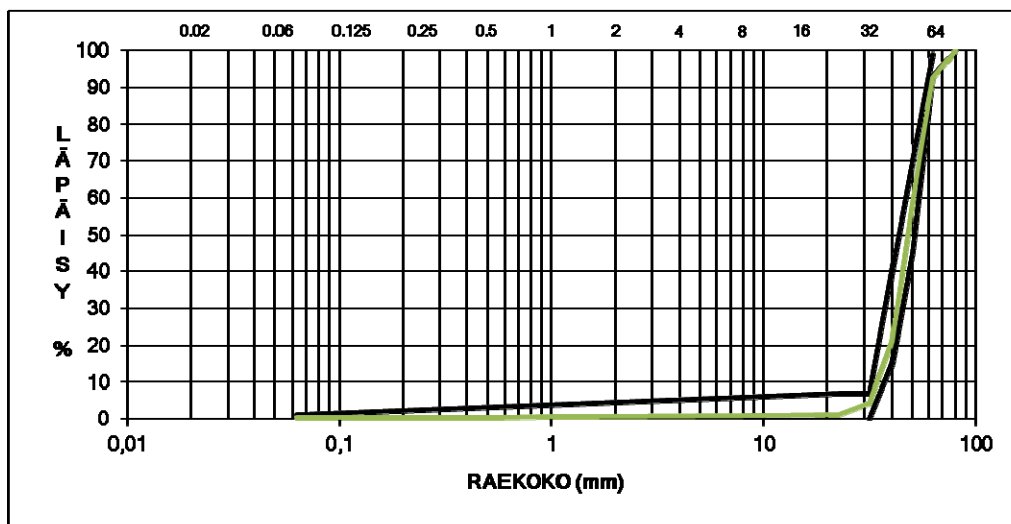
Raidesepelistä RSD testattiin materiaalin vedenimeytyminen ja iskunkestävyys kolmesta rinnakkaisnäytteestä ja kulutuskestävyys yhdellä testillä. Tulokset on esitetty taulukossa 47. Testitulosten perusteella raidesepeli RSD ei täytä iskunkestävyyden osalta luokan L<sub>ARB12</sub> vaatimuksia. Kulutuskestävyyden ja vedenimeytymisominaisuuksien osalta vaatimukset täyttyvät.

Taulukko 47. Raidesepelistä RSD tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RSD1	12	L <sub>ARB14</sub>	L <sub>ARB12</sub>	L <sub>ARB12</sub>
	RSD2	13			
	RSD3	13			
Micro-Deval	RSD4	8	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11
Vedenimeytyminen	RSD1	0,1	W <sub>cm</sub> < 0,5 %	W <sub>cm</sub> < 0,5 %	W <sub>cm</sub> < 0,5 %
	RSD2	0,1			
	RSD3	0,1			

### 5.2.5 Sepeli RSE

Raidesepelin RSE kolmen tutkitun näytteen keskimääräinen raekokojakauma on esitetty kuvassa 67. Yksittäisten näytteiden seulontatulokset on esitetty taulukossa 48. Taulukkoon on merkitty oranssilla havaitut poikkeamat vaatimuksista. Sepelin kelpoisuuden arviointi on tehty keskimääräisen raekokojakauman perusteella, vaikka yksittäisissä näytteissä olisikin ollut poikkeamia. Raidesepeli RSE täyttää luokan F vaatimukset raekokojakauman osalta.



Kuva 67. Raidesepelin RSE keskimääräinen rakeisuus ( $n=3$ ). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty radan tukikerroksen rakeisuus-luokan F alue.

Taulukko 48. Raidesepelistä RSE tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja keskimääräinen raekokojakauma.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RSE1	RSE2	RSE3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	97	96	94	96	93..99
50	62	51	47	54	45....70
40	29	22	14	22	15..40
31,5	9	7	4	7	0..7
22,4	2	1	1	1	0..7
8	1	1	1	1	-
1	1	1	1	1	-
0,5	1	1	1	1	-
0,063	0,4	0,4	0,4	0,4	0..1

Raidesepelin RSE geometrinen ominaisuuksien testien tulokset on esitetty taulukossa 49. Muotoarvon osalta taulukkoon on merkitty oranssilla, mikäli on havaittu poikkeamia vaatimuksista. Muotoarvotestin osalta kelpoisuus on arvioitu keskiarvon avulla. Muotoarvotestissä havaittiin poikkeama yhdessä näytteessä, mutta testitulosten keskiarvo on tasan 20, eli sepele täyttää luokan SI<sub>20</sub> vaatimukset.

Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta ei tällä hetkellä Suomessa rajoiteta. Raidesepelissä RSE on testitulosten perusteella vähän yli 20 %  $\geq 100$  mm pitkiä rakeita.



Taulukko 49. Raidesepelistä RSE tutkittujen näytteiden geometriset ominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RSE1	20	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>
	RSE2	21			
	RSE3	19			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RSE1	17	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RSE2	23			
	RSE3	24			

Raidesepelistä RSE testattiin materiaalin vedenimeytyminen ja iskunkestävyys kolmesta rinnakkaisnäytteestä ja kulutuskestävyys yhdellä testillä. Tulokset on esitetty taulukossa 50. Testitulosten perusteella raidesepeli RSE täyttää lujuus- ja vedenimeytymisominaisuuksien osalta vaatimukset.

Taulukko 50. Raidesepelistä RSE tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RSE1	12	L <sub>ARB12</sub>	L <sub>ARB12</sub>	L <sub>ARB12</sub>
	RSE2	12			
	RSE3	12			
Micro-Deval	RSE4	6	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11	m <sub>DE</sub> RB 11
Vedenimeytyminen	RSE1	0,1	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %	W <sub>cm</sub> <0,5 %
	RSE2	0,2			
	RSE3	0,2			

## 5.3 Yhteenveto raidesepeleistä

Näytteitä haettiin yhteensä viidestä kohteesta. Kahdessa kohteessa käytetty sepeleli oli peräisin samalta kiviainesalueelta eli yhteensä on testattu sepeleliä neljältä eri kiviainesalueelta. Kahdessa sepelelissä neljästä havaittiin muotoarvopuutteita. Sepelin geometrinen muoto vaikuttaa tukikerroksen elinkaareen. Liian pitkulaisia tai litteitä rakeita paljon sisältävä sepeleli menettää raekontaktinsa useammin, jolloin raiteen asema muuttuu herkemmin. Tämä aiheuttaa tihevää tukemistarvetta. Tukemisen yhteydessä pitkulaiset ja litteät rakeet rikkoutuvat helpommin särmikkäisiin, kuutiomaisiin rakeisiin verrattuna. Kunnossapitotarpeen ja -toimenpiteiden yhteisvaikutus siis kiihdyttää sepelelin hienotumista.

Toinen sepelelin raemuotoon liittyvä ongelma havaittiin kaikissa testatuissa sepeleleissä. Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta sepelelissä ei tällä hetkellä rajoiteta Suomessa, vaikka suositus ominaisuuden vaatimustasosta on esitetty kansallisessa sovelta-  
misstandardissa SFS 7007. Raidesepelikiviaineksa koskevassa standardissa korkein mahdollinen luokka pitkille rakeille on enintään 12 %. Tutkituissa näytteissä oli 15...25 % yli 100 mm rakeita. Koska myös muotoarvopuutteita havaittiin, olisi syytä pohtia, pitäisikö pitkien rakeiden osuutta rajoittaa, jotta raidesepelirakeiden muoto saataisiin särmikkäämmäksi.

Yhdessä sepelissä havaittiin poikkeama iskunkestävyydessä. Likimain kaikki Suomessa käytettävät raideseipelit kuuluvat iskunkestävyysluokkaan L<sub>ARB</sub>12. Tarpeita olisi myös luokille L<sub>ARB</sub>16 ja L<sub>ARB</sub>20, koska kaikilla radoilla ei pienemmän liikennemäärän takia välttämättä tarvittaisi kaikkein lujinta raideseipeliä.

## 6 Radan alusrakennekerrosten materiaalit

### 6.1 Tutkimusmenetelmät

#### 6.1.1 Radan alusrakennekerrokset luonnonmateriaalista

Kun radan eristys- ja välikerros rakennetaan luonnonhiekasta tai -sorasta, materiaali-vaatimukset liittyvät käytettävän materiaalin raekokojakaumaan. Materiaalin rakeisuus testataan standardin SFS-EN 933-1 mukaisella pesuseulonnalla. Materiaali ei saa sisältää yli 150 mm suuruisia kiviä. Toinen merkittävä ominaisuus on materiaalin hienoainespitoisuus. Hienoainespitoisuus vaikuttaa materiaalin routivuuteen ja radan alusrakenteessa pitää käyttää routimattomia materiaaleja. Hienoainespitoisuuden ( $\leq 0,063$  mm lajite) tulee olla alle 4%-yksikköä. Kolmas materiaalin raekokojakaumasta määritettävä ominaisuus on materiaalin raekokosuhte  $C_u$ .  $C_u$  määritetään raekokojakauman läpäisyprosenttien 60 ja 10 välisenä suhteena. Suhteen pitää olla vähintään 5. Raekokosuhte vaikuttaa materiaalin tiivistymiseen. Liian tasarakeinen materiaali ei tiivisty kunnolla.

#### 6.1.2 Radan alusrakennekerrokset kalliomurskeesta

Kun radan alusrakennekerrokset rakennetaan kalliomurskeesta, käytetään materiaalina mursketta, jonka maksimiraekoko on 63 mm. Materiaalin hienoainespitoisuus saa olla enintään 2%-yksikköä. Raekokosuhtevaatimus käytettävälle kalliomurskeelle on  $\geq 6$ . Raekokojakaumaan liittyvät ominaisuudet tutkitaan standardin SFS-EN 933-1 mukaisella pesuseulonnalla.

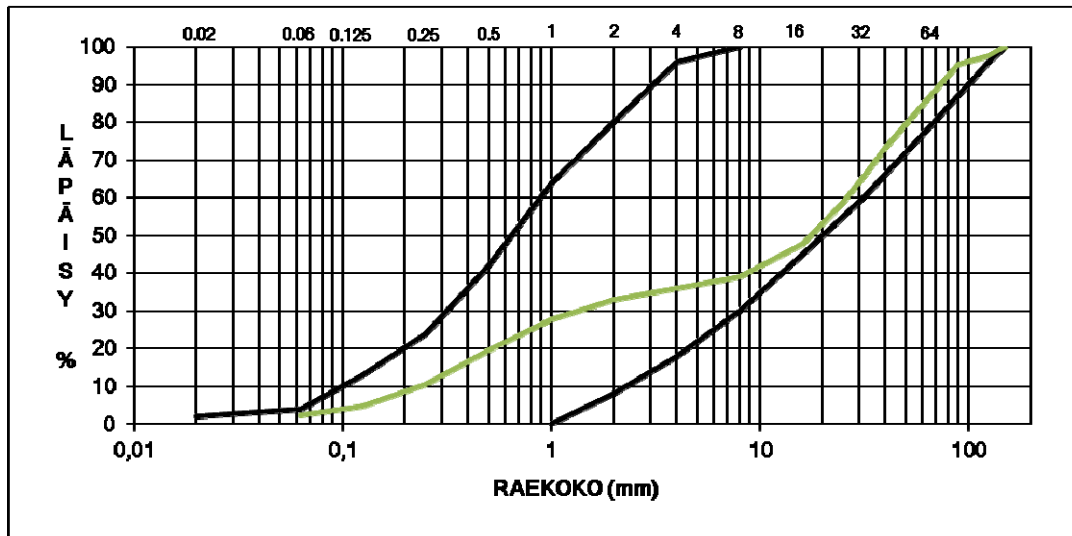
Radan alusrakenteissa käytettävän kalliomurskeen mekaaniset ominaisuudet testataan Los Angeles -testillä standardin SFS-EN 1097-2 mukaisesti ja micro-Deval-testillä standardin SFS-EN 1097-1 mukaisesti. LA-testi mittaa ensisijaisesti iskunkestävyyttä ja micro-Deval -testi mittaa hiovan kulutuksen kestoa. Radan alusrakenteissa käytettävän murskeen mekaaniset ominaisuudet testataan lajitteesta 10/14 mm. LA-luvun tulee olla tason Kv -1500 mm yläpuolella luokkaa LA<sub>25</sub> ja MD-arvon luokkaa MD<sub>15</sub>.

Materiaalin jäätymis-sulamiskestävyyttä ja routimisherkkyyttä ennakoivan vedenimeytymisen enimmäismäärä eristys- ja välikerrosten kalliomurskeilla on standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti lajitteesta 4/31,5 mm määritettynä enintään 0,5 % (luokka WA<sub>240,5</sub>).

### 6.2 Testitulokset

#### 6.2.1 Kohde RAA

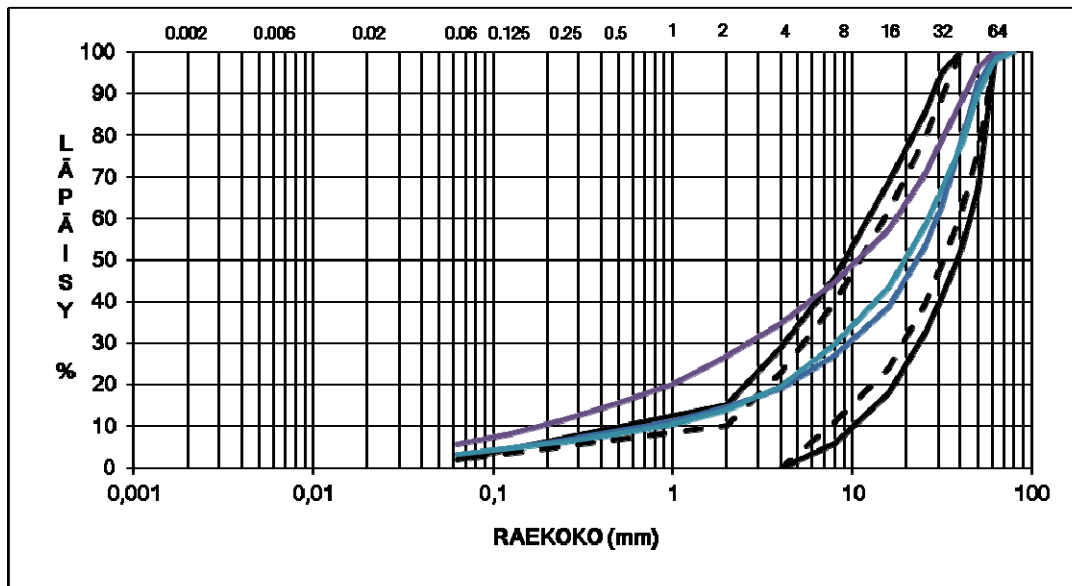
Kohteessa RAA rakennettiin rataoikaisua luonnonsorasta. Materiaalin kelpoisuus tarkastettiin ottamalla neljä rinnakkaisnäytettä tiivistetyn välikerroksen päältä. Kaikki näytteet olivat rakeisuuden perusteella routimattomia. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma on InfraRYL:n kappaleessa 21230 esitetyn mukainen (kuva 68).



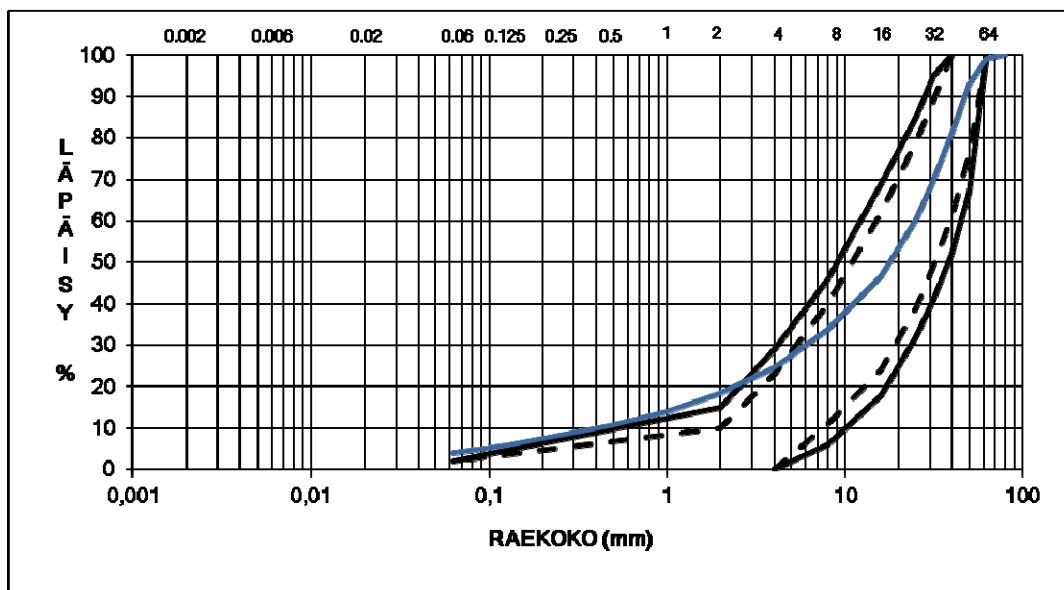
Kuva 68. Kohteen RAA välikerrossoran keskimääräinen raekokojakauma ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty hiekasta tai sorasta tehtävän radan välikerroksen rakeisuusalue.

### 6.2.2 Kohde RAB

Kohteessa RAB pidennettiin liikennepaikkaa. Radan alusrakennekerrokset rakennettiin kalliomurskeesta. Kuvassa 69 on esitetty tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja kuvassa 70 tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma. Kuvista nähdään, että käytetty materiaali ei täytä eristys- ja välikerrokselle asetettuja rakeisuusvaatimuksia. Materiaali on liian hienorakeista ja sisältää liikaa hienoaainesta.



Kuva 69. Kohteesta RAB tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.



Kuva 70. Kohteesta RAB tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.

Materiaalista seulottiin työmaalla lajitetta 8/16 mm lujuustestejä varten. Materiaalin iskunkestävyys testattiin kolmen rinnakkaisnäytteen avulla. Materiaalin kulutuskestävyys testattiin kahdella rinnakkaistestillä. Lisäksi otetuista rakeisuusnäytteistä otettiin rakeisuusmäärityksen jälkeen lajitetta 4/31,5 mm ja testattiin kiviaineksen vedenimeytysominaisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 51. Kiviaineksen iskunkestävyys ei täytä asetettuja vaatimuksia.

Sen lisäksi, että tutkituissa näytteissä havaittiin laatualituksia, oli kiviaineksen suoritustasoilmoitus myös virheellinen aiottuun käyttötarkoitukseen. Materiaali oli suoritustasoilmoituksessa merkitty murskatuksi 0/50 mm  $G_{A70}$ . Kiviainesstandardin perusteella pienin hienoainesluokka, joka kyseiselle materiaalille voidaan merkitä, on  $f_3$ , jolloin  $\leq 0,063$  mm lajitetta on tuotteessa enintään 3 %-yksikköä. Radan eristys- ja välikerroksessa käytettävälle kalliomurskeelle raja on kuitenkin 2 %-yksikköä, joten olisi pitänyt edellyttää toimittajaa osoittamaan materiaalin kelpoisuus. Tätä ei kuitenkaan voitu tehdä, koska pyynnöistä huolimatta dokumentteja ei toimitettu ennen rakentamista. Näytteet haettiin kesäkuussa 2017, ja materiaalin suoritustasoilmoitus oli allekirjoitettu heinäkuun lopulla 2017. Kiviainestoimittaja on myynyt rakennustuoteasetuksen vastaisesti CE-merkitsemätöntä tuotetta.

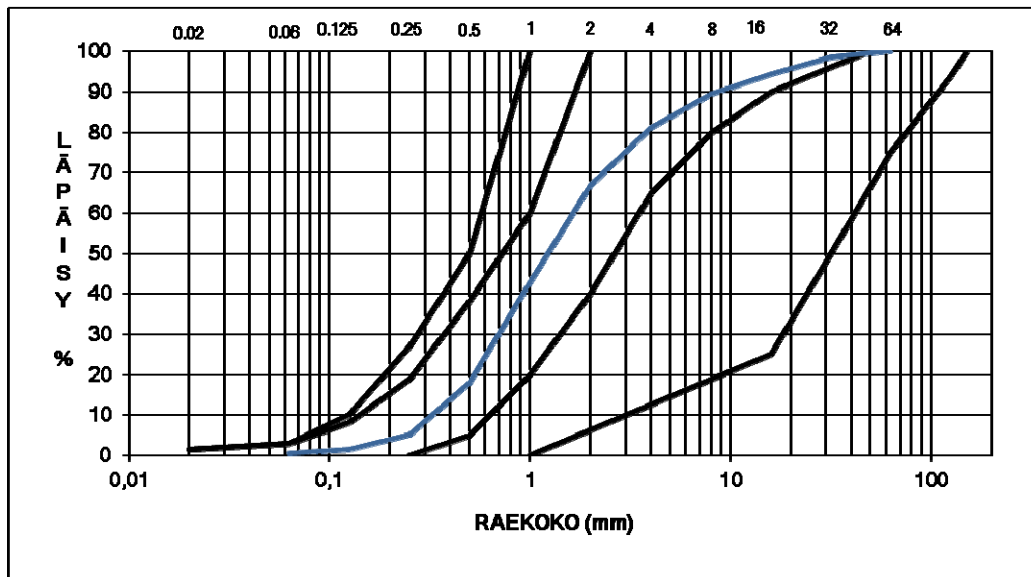


Taulukko 51. Kohteen RAB eristys- ja välikerrosmurskeesta tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritusaso- ilmoitus	Vaatus
Los Angeles- luku	RAB4	24	LA <sub>30</sub>	LA <sub>25</sub>	LA <sub>25</sub>
	RAB5	26			
	RAB6	26			
Micro-Deval	RAB7	8	M <sub>DE</sub> 10	M <sub>DE</sub> 10	M <sub>DE</sub> 15
	RAB8	9			
Veden- imeytyminen	RAB1	0,2	WA <sub>24</sub> <0,5 %	WA <sub>24</sub> <0,5 %	WA <sub>24</sub> <0,5 %
	RAB2	0,1			
	RAB3	0,2			

### 6.2.3 Kohde RAC

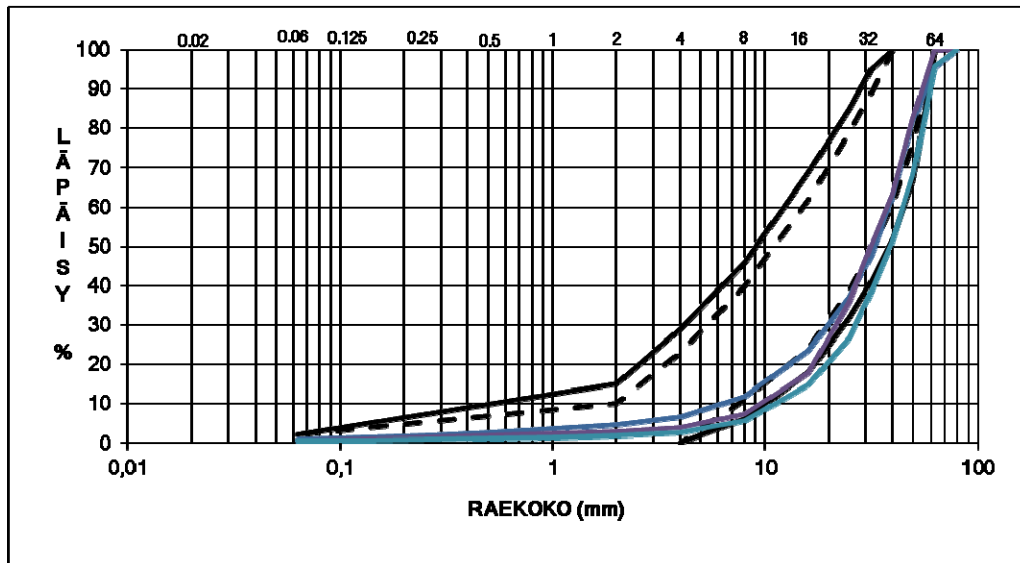
Kohteessa RAC korjattiin ratarakennetta aukikaivamalla ja tehtiin pohjanvahvistuksia. Rakenteessa olleen vanhan eristyskerrosmateriaalin kelpoisuus haluttiin varmistaa. Kohteesta otettiin neljä rinnakkaisnäytettä, joista määritettiin materiaalin rakeisuus. Tutkituista näytteistä määritetty materiaalin keskimääräinen rakeisuus on esitetty kuvassa 71. Kuvasta nähdään, että materiaali kelpaa eristyskerrokseen.



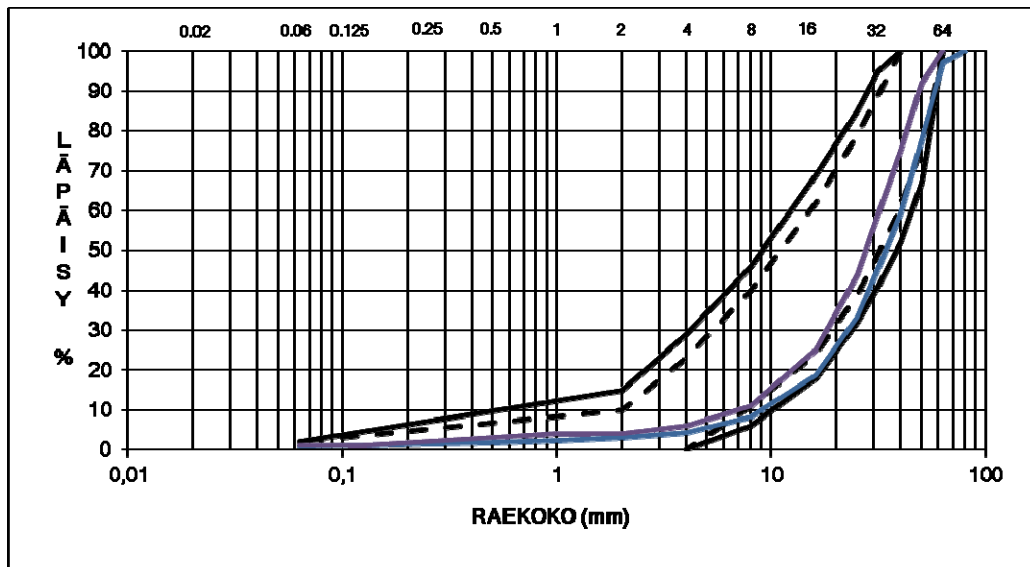
Kuva 71. Kohteesta RAC tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus ( $n=4$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty luonnonkiviaineksesta rakennettavan radan eristyskerroksen ala- ja yläosien rakeisuusalueet.

### 6.2.4 Kohde RAD

Kohteessa RAD rakennettiin rataa uutta välikerrosta kalliomurskeesta. Kuvassa 72 on esitetty tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja kuvassa 73 tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma. Materiaali on hivenen liian karkearakeista ja rakeisuuskäyrä on roikkuva. Tästä syystä materiaali ei täytä asetettua raekokosuhdevaatimusta  $d_{60}/d_{10} \geq 6$ . Materiaalin raekokosuhde on noin 4.



Kuva 72. Kohteesta RAD tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.



Kuva 73. Kohteesta RAD tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (violetti). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.

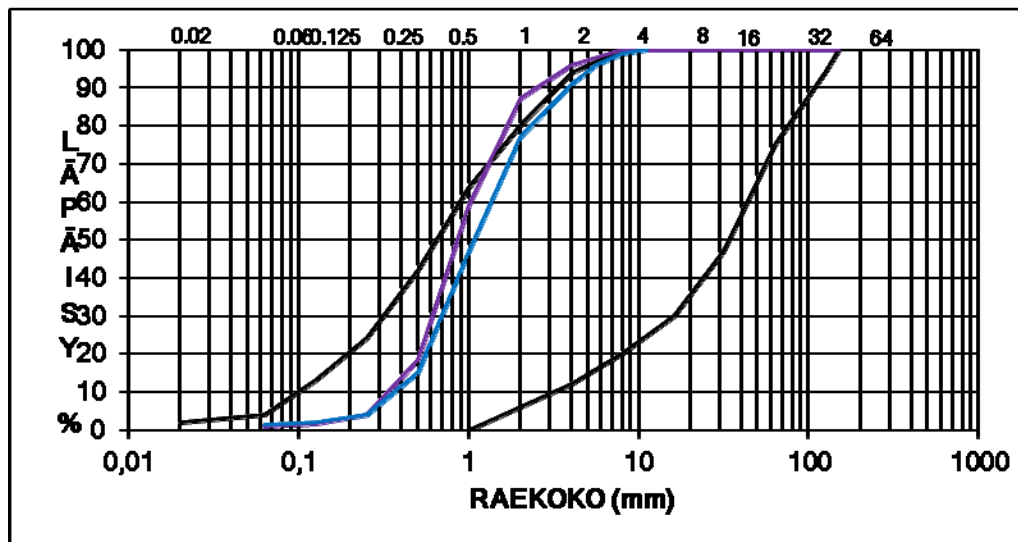
Materiaalista seulottiin työmaalla talteen lajitetta 8/16 mm lujuustestejä varten. Materiaalin iskunkestävyys testattiin kolmen rinnakkaisnäytteen avulla. Materiaalin kulutuskestävyys testattiin kahdella rinnakkaistestillä. Lisäksi otetuista rakeisuusnäytteistä otettiin rakeisuusmäärittelyn jälkeen talteen lajitetta 4/31,5 mm ja testattiin kiviaineksen vedenimeytymisominaisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 52. Kiviaineksen iskunkestävyys ei täytä asetettuja vaatimuksia. Materiaalista ei myöskään toimitettu CE-merkkiä tai suoritusasoilmoitusta, vaan vain yksittäisiä koetuloksia.

Taulukko 52. Kohteen RAD eristys- ja välikerrosmurskeesta tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritusaso- ilmoitus	Vaatus
Los Angeles -luku	RAD4	25	LA <sub>30</sub>	-	LA <sub>25</sub>
	RAD5	28			
	RAD6	28			
Micro-Deval	RAD7	12	M <sub>DE</sub> 15	-	M <sub>DE</sub> 15
	RAD8	13			
Veden- imeytyminen	RAD1	0,2	WA <sub>24</sub> <0,5 %	-	WA <sub>24</sub> <0,5 %
	RAD2	0,2			
	RAD3	0,1			

### 6.2.5 Kohde RAE

Kohteessa RAE rakennettiin uutta välikerrosta luonnonmateriaalista. Materiaali oli laatudokumenttien mukaan seulottua soraa 0/8 mm. Suoritusasoilmoituksen perusteella materiaali oli vaatimusten mukaista. Kohteesta otettiin neljä rinnakkaisnäytettä, joista määrätettiin materiaalin rakeisuus. Tulokset on esitetty kuvassa 74. Kuvasta nähdään, että tutkittujen näytteiden perusteella materiaali olisi jonkin verran liian hienorakeista eikä kelpaisi välikerrokseen. Materiaali ei kuitenkaan tutkittujen näytteiden perusteella ole routivaa.



Kuva 74. Kohteesta RAE tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen, n=4) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (violetti). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty hiekasta tai sorasta tehtävän radan välikerroksen rakeisuusalue.

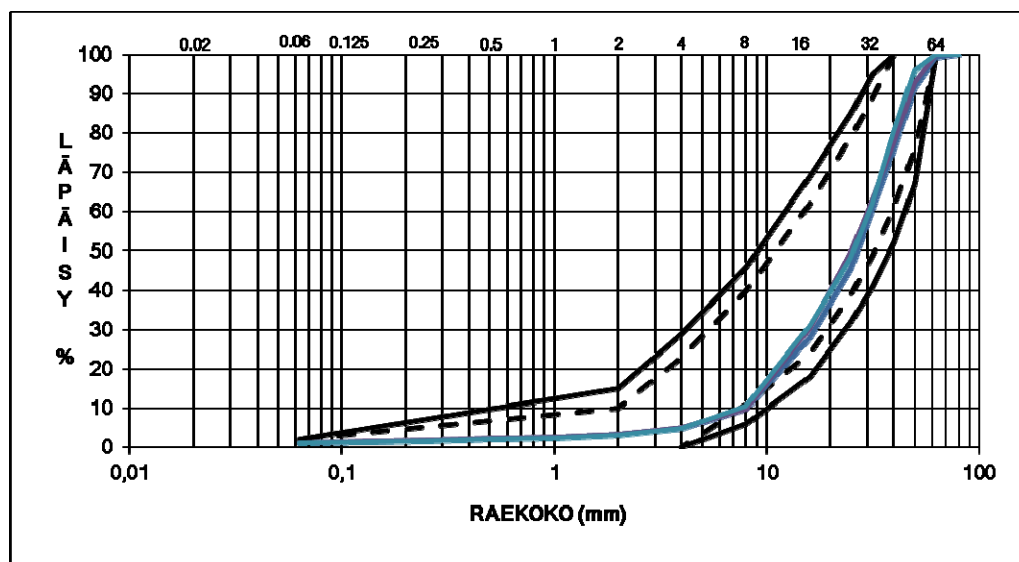
Materiaalin hienorakeisuutta suurempi ongelma liittyy samaan aikaan rakennettuun eristyskerrokseen. Eristyskerrosmateriaalista ei otettu näytteitä tämän tutkimuksen puitteissa. Eristyskerroksen rakentamiseen käytettiin kalliomursketta 5/32 mm. Materiaali on laatudokumenttien perusteella rakeisuudeltaan ohjealueella, mutta materiaalin raekokosuhte on liian pieni verrattuna vaadittuun eikä se tiivisty

kunnolla. Suurin ongelma on se, että jos eristyskerros rakennetaan kalliomurskeesta, tulee myös välikerros rakentaa kalliomurskeesta. Nyt näin ei ole toimittu, joten kyseessä on InfraRYL:n kappaleissa 21220 ja 21230 esitettyjen vaatimusten vastainen rakenne.

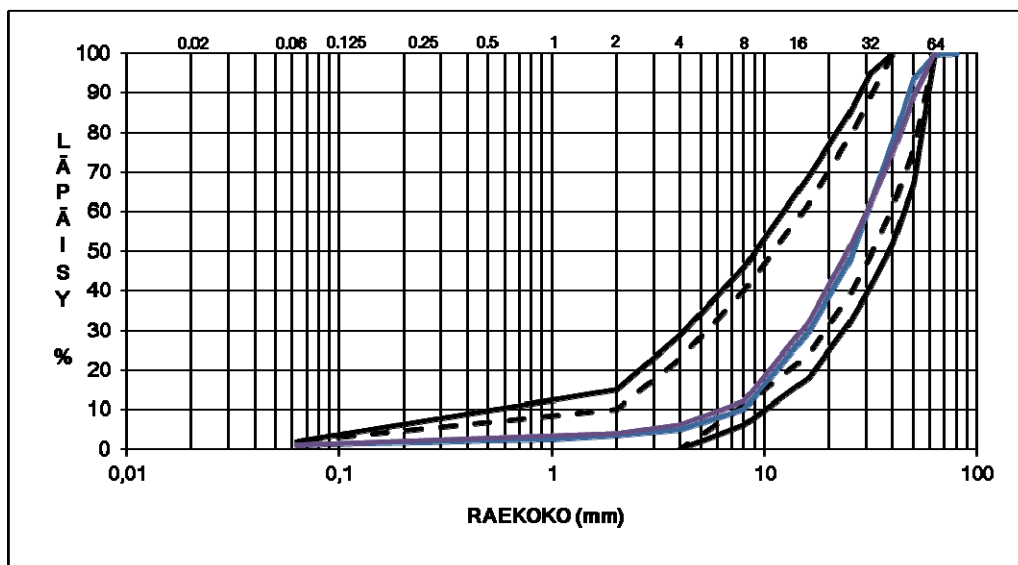
Lisäksi käytetyn välikerrosmateriaalin suoritustasoilmoitus oli allekirjoitettu rakentamisen jälkeen, joten kiviainestoimittaja on toimittanut materiaalia työmaalle rakennustuoteasetuksen vastaisesti.

## 6.2.6 Kohde RAF

Kohteessa RAF rakennettiin rataa uutta välikerrosta kalliomurskeesta. Kuvassa 75 on esitetty tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja kuvassa 76 tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali täyttää asetetut rakeisuusvaatimukset. Materiaalin suoritustasoilmoitus oli kuitenkin virheellinen. Kiviaines oli murskattu 0/56 mm G<sub>A</sub> 90. Materiaalin puhtausluokaksi on merkitty f2, mikä ei ole kiviainesstandardin mukaan mahdollista.



Kuva 75. Kohteesta RAF tutkittujen näytteiden rakeisuudet ( $n=3$ ). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.



Kuva 76. Kohteesta RAF tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sini-nen) ja suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu tyyppirakeisuus (violetti). Mustalla yhtenäisellä viivalla on esitetty kalliomurskeesta rakennettavan radan eristys- ja välikerroksen yksittäisten tulosten sallittu vaihteluväli ja katkoviivalla kaikkien tulosten keskiarvolle sallittu alue.

Materiaalista seulottiin työmaalla talteen lajitetta 8/16 mm lujuustestejä varten. Materiaalin iskunkestävyys testattiin kahden rinnakkaisnäytteen avulla. Materiaalin kulutuskestävyys testattiin yhdellä testillä. Lisäksi yhdestä rakeisuusnäytteestä otettiin rakeisuusmäärittelyn jälkeen talteen lajitetta 4/31,5 mm ja testattiin kiviaineksen vedenimeytymisominaisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 53. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali täyttää vaatimukset.

Taulukko 53. Kohteen RAF eristys- ja välikerrosmurskeesta tutkittujen näytteiden lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RAF4	20	LA <sub>20</sub>	LA <sub>20</sub>	LA <sub>25</sub>
	RAF5	20			
Micro-Deval	RAF6	7	M <sub>DE</sub> 10	M <sub>DE</sub> 15	M <sub>DE</sub> 15
Vedenimeytyminen	RAF1	0,1	WA <sub>24</sub> <0,5 %	WA <sub>24</sub> 0,2 %	WA <sub>24</sub> <0,5 %



## 6.3 Yhteenveto radan alusrakennemateriaaleista

Kaikissa kolmessa kalliomurskekohteessa havaittiin puutteita tai virheitä materiaalien laatudokumenteissa. Vastaavia virheitä dokumenteissa on havaittu myös tutkimuksen aiempina vuosina. Radan alusrakenteeseen tarkoitettua mursketta valmistetaan varastoon vain muutamassa paikassa. Muissa infrarakenteissa käytettävät murskeet taas eivät suoraan täytä ratarakenteen tiukempia laatuvaatimuksia. Vaikuttaa siltä, että laatudokumenttien tarkastajien osaaminen ei tältä osin ole riittävällä tasolla ja osaamista pitäisi lisätä.

Kalliomurskekohteissa havaittiin laatupoikkeamia kahdessa kiviaineksessa. Molemmissa tapauksissa materiaali sisälsi liian paljon hienoainesta ja materiaalin iskunkestävyys ei testitulosten perusteella ollut riittävä.

Luonnonmateriaalikohteissa kaksi materiaalia täytti asetetut rakeisuusvaatimukset. Yhdessä tuotteessa oli pieni poikkeama verrattuna välikerrosmateriaalille sallittuun rakeisuusalueeseen. Poikkeamaa suurempi ongelma oli kuitenkin koko alusrakenne. Testattua hiekka/soramateriaalia käytettiin välikerroksen rakentamiseen ja alapuolelle rakennettiin uusittua eristyskerrosta puolestaan kalliomurskeesta. Lopputuloksena oli siis yleisten laatuvaatimusten vastainen rakenne.

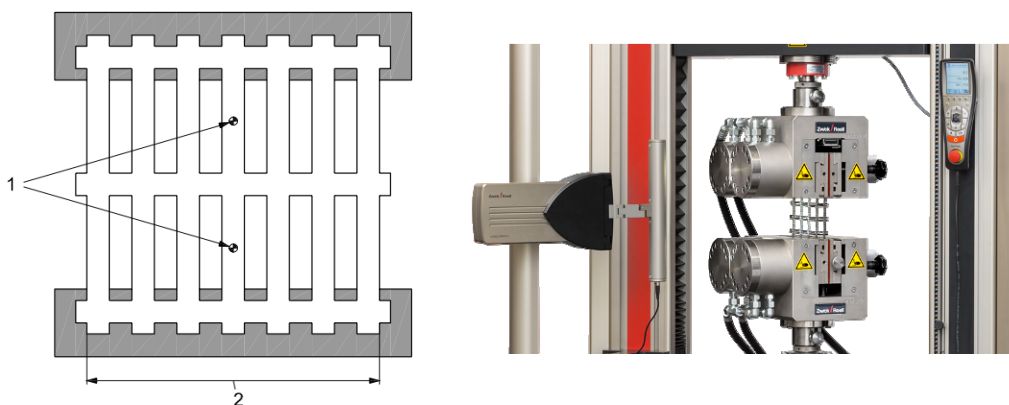
Radan alusrakennemateriaalien laadussa ei näytä tapahtuneen kehitystä vuosien 2014 ja 2017 välisenä aikana. Materiaalien valinta vaikuttaa tuottavan hankaluuksia, eikä kaikista kiviainesten ominaisuuksista välttämättä osata ottaa selvää ennen rakentamista. Laatudokumenttien lisäksi koulutusta tarvittaisiin myös yleisten laatuvaatimusten osalta.

## 7 Geosyntetit

Geosyntetituotteita testattiin vuonna 2017 yhteensä seitsemän: neljä geolujitetta, kaksi bentoniittimattoa ja yksi ohutmuovi. Näytteenotto on kuvattu luvussa 2.2. Bentoniittimaton testaamista ja testausmenetelmiä sekä tulosten arviointiperusteita on käsitelty laajemmin tämän tutkimuksen aiemmassa raportissa (Kalliainen et. al. 2017). Geolujitteiden testitulokset esitetään kappaleessa 7.1, bentoniittimattojen kappaleessa 7.2 ja ohutmuovien tulokset kappaleessa 7.3. Geolujitteista on testattu tuotteen vetolujuus ja murtovenymä. Bentoniittimatoista on testattu bentoniitin neliöpaino ja paisuntaindeksi. Ohutmuovista on määritetty neliöpaino ja sen laskettu sen perusteella paksuus.

Geolujitteen käyttäytyminen vetokokeessa eli lujuus ja sitä vastaava muodonmuutos ovat tuotteen keskeisiä ominaisuuksia. Geolujitteen lujuuden tulee olla riittävä ottaakseen vastaan lujitteeseen kohdistuvat voimat. Lisäksi lujitteen tulee olla riittävän jäykkä, jotta tarvittava lujitevoima voi kehittyä alhaisilla muodonmuutoksilla, jottei lujitteen venymä johda lujitettavan maarakenteen sallittujen muodonmuutosten ylitymiseen.

Geolujitteiden lyhyen ajan vetolujuus määritetään vetokokeella, samalla testimenetelmällä kuin suodatinkankailla. Koelaitteiston erikoisvalmisteisiin leukoihin kiinnitetty koekappale vedetään vakio muodonmuutosnopeudella murtoon asti. Käytettävä muodonmuutosnopeus vaikuttaa tulokseen. Tuotteilla, joiden muodonmuutos on alle 5 %, käytetään nopeutena  $30 \pm 5$  %/minuutti ja muilla tuotteilla  $20 \pm 5$  %/minuutti. Käytetty vetovoima ja sitä vastaava muodonmuutos mitataan tietyin aikavälein ja tuloksista piirretään kuormitus-venymäkäyrä. Standardin EN-ISO 10319 *Geosynthetics. Wide-width tensile test* mukaan koekappaleen vähimmäisleveys on 200 mm ja leukojen väliin jäävä pituus vähintään 100 mm. Geoverkoilla testikappaleen tulee sisältää vähintään yksi kokonainen elementtirivi (kuva 77).



Kuva 77. Geoverkon testikappaleen vähimmäismitta vetokokeessa (EN-ISO 10319). 1: muodonmittauksen mittapisteiden sijoittaminen ja 2: vetoelementtien lukumäärä  $n_s$ . Oikealla esimerkki testilaitteesta (Zwick)

Vetokoe tehdään konesuunnassa (MD) ja konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (CMD), paitsi jos kyseessä on yksiaksiaalinen lujite. Näytteitä testataan vähintään viisi kappaletta molemmissa suunnissa. Näytteet säilytetään vakio-olosuhteissa ennen testausta. Tuloksena ilmoitetaan maksimivetolujuus (kN/m) ja vastaava murtovenymä (%). Laskennassa huomioidaan tuotteen tyyppi eli onko kyseessä lujitekangas, jolloin lujuus lasketaan testikappaleen leveyttä kohden, vai geoverkko, jolloin

otetaan huomioon vetoelementtien lukumäärä. Viiden testin keskiarvojen lisäksi voidaan ilmoittaa molemmissa suunnissa yksittäiset tulokset, nimellislujuutta vastaava venymä sekä 2%, 5 % ja 10 % muodonmuutosta vastaava sekantti- eli muodonmuutosmoduuli.

Mikäli geolujitteella on NorGeoSpec-laadunvarmistussertifikaatti, tuloksia verrataan tuotteen valmistajan NorGeoSpec-sertifikaattia varten ilmoittamiin arvoihin ja hajontaan. Ellei tuotteella ole NorGeoSpec-sertifikaattia, verrataan tuloksia valmistajan suoritustasoilmoituksessa ilmoittamiin arvoihin ja hajontaan.

Ohutmuovista tutkittiin neliöpaino standardin SFS-EN ISO 9864 mukaisesti. Neliöpaino määritetään punnitsemalla kymmenen vakio-olosuhteissa säilytettyä ja vakiokokoon (100 cm<sup>2</sup>) leikattua näytekappaletta. Tuloksena ilmoitetaan mittaustulosten keskiarvo kokonaislukuna (g/m<sup>2</sup>). Neliöpainon perusteella on laskettu testikappaleen paksuus.

Tiivistyskalvon paksuus vaikuttaa tuotteen saumattavuuteen, säilyvyyteen ja mekaaniseen kestävyyskykyyn. Alle 1,5 mm kalvojen liittäminen toisiinsa hitsaamalla on hyvin haasteellista. Paksuuden suuri vaihtelu vaikuttaa paksuillakin kalvoilla hitsausseamien laatuun.

Mitä paksumpi kalvo, sitä suurempi on sen repäisy- ja puhkaisulujuus ja sitä vähemmän altis se on asennuksen aikaiselle vaurioitumiselle. Paksummat kalvot kestävät paremmin kemiallista kuormitusta, lämpötilan vaihteluja ja jännityssäröilyä. Osa vanhenemisprosessista etenee sitä hitaammin, mitä paksumpi kalvo on kyseessä. Toisaalta ohuen kalvon asennettavuus on parempi ja hinta alhaisempi.

Tuotestandardien mukaan georisteillä eli tiivistyskalvoilla, tuote hyväksytään vaatimustenmukaiseksi tutkitun ominaisuuden osalta, jos ominaisuuden testitulokset tai -tulokset ovat valmistajan ilmoittamien toleranssirajojen sisällä. Jos jonkin tietyn ominaisuuden testitulokset tai -tulokset ovat toleranssirajojen ulkopuolella, testataan näytteestä B valmistetut koekappaleet. Jos näytteen B tulokset ovat valmistajan ilmoittamien toleranssirajojen sisällä, tuote hyväksytään vaatimustenmukaiseksi tämän ominaisuuden osalta. Jos testitulokset tai -tulokset ovat toleranssirajojen ulkopuolella, tuotetta ei hyväksytä.

## 7.1 Geolujitteet

### 7.1.1 Lujite I

Taulukossa 54 on esitetty lujitteelle I tehtyjen vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valmistaja voi ilmoittaa tuotteen venymän joko murtolujuuden tai nimellislujuuden kohdalla. Tässä tapauksessa on ilmoitettu venymä nimellislujuuden kohdalla. Saatua tuloksia on verrattu valmistajan suoritustasoilmoituksessa ilmoittamiin arvoihin. Arvostelukriteereinä on vetolujuus. Koekappaleen venymä on mitattu laboratorioissa poikkeavasti verrattuna standardissa SEF-EN ISO 10319 ilmoitettuun, joten venymää nimellislujuuden kohdalla ei käytetä arvostelukriteerinä. Tuote täyttää ilmoitetut arvot vetolujuuden osalta, ilmoitettu nimellisvetolujuus on 30 kN/m molemmissa testisuunnissa. Venymän osalta tuote ei täyttäisi ilmoitettuja arvoja ( $5,5 \pm 1,1$  %).

Taulukko 54. Lujitteen I vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valkoinen solu tarkoittaa, että tuote täyttää asetetut vaatimukset. Keltainen solu tarkoittaa, että saatu tulos poikkeaa ilmoitetusta arvosta, mutta testauslaboratorion mittaustapa poikkeaa standardista, joten arvoa ei käytetä tässä tapauksessa arvosteluperusteena.

<b>Konesuunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Venymä nimellislajuuden kohdalla (%)</b>
1	35,32	6,92
2	37,03	6,76
3	33,60	7,23
4	34,48	7,23
5	28,16	6,92
6	32,46	8,92
7	36,51	8,46
8	38,14	6,92
9	35,08	7,23
10	35,65	8,77
<b>Keskiarvo</b>	<b>34,64</b>	<b>7,54</b>

<b>Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Venymä nimellislajuuden kohdalla (%)</b>
1	40,05	9,53
2	39,60	7,38
3	39,73	7,23
4	39,91	7,69
5	40,17	7,85
6	39,87	8,15
7	39,38	7,69
8	38,55	7,38
9	37,89	8,15
10	38,23	7,54
<b>Keskiarvo</b>	<b>39,34</b>	<b>7,86</b>

### 7.1.2 Lujite II

Taulukossa 55 on esitetty lujitteelle II tehtyjen vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valmistaja voi ilmoittaa tuotteen venymän joko murtolujuuden tai nimellislajuuden kohdalla. Tässä tapauksessa on ilmoitettu venymä murtolujuuden kohdalla. Arvostelukriteereinä on vetolujuus. Murtovenymä on mitattu laboratoriossa poikkeavasti verrattuna standardissa SEF-EN ISO 10319 ilmoitettuun, joten murtovenymää ei käytetä arvostelukriteerinä. Tuote ei täytä ilmoitettua arvoa (100 kN/m molemmissa testisuunnissa) vetolujuuden osalta. Tässä tapauksessa on kuitenkin kyseenalaista, voiko edes vetolujuutta käyttää arvostelukriteerinä, koska lujitteelle testeissä saadut murtovenymät ovat noin nelinkertaisia verrattuna valmistajan ilmoittamaan arvoon ( $\leq 2,5$  %). On mahdollista, että kokeet eivät ole onnistuneet.

Taulukko 55. Lujitteen II vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valkoinen solu tarkoittaa, että tuote täyttää asetetut vaatimukset. Keltainen solu tarkoittaa, että saatu tulos poikkeaa ilmoitetusta arvosta, mutta testauslaboratorion mittaustapa poikkeaa standardista, joten arvoa ei käytetä tässä tapauksessa arvosteluperusteena.

<b>Konesuunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	45,41	9,08
2	46,77	10,14
3	46,33	9,98
4	44,08	11,48
5	42,81	10,14
6	43,50	10,14
7	45,22	11,63
8	53,32	11,03
9	49,89	9,83
10	47,25	9,53
<b>Keskiarvo</b>	<b>46,46</b>	<b>10,30</b>

<b>Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	39,60	9,23
2	43,30	9,08
3	40,06	9,08
4	41,43	8,31
5	42,99	8,77
6	33,62	9,53
7	46,10	9,83
8	40,69	8,46
9	41,76	9,68
10	40,27	9,23
<b>Keskiarvo</b>	<b>40,98</b>	<b>9,12</b>

### 7.1.3 Lujite III

Taulukossa 56 on esitetty lujitteelle II tehtyjen vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valmistaja voi ilmoittaa tuotteen venymän joko murtolujuuden tai nimellisujuuden kohdalla. Tässä tapauksessa on ilmoitettu venymä murtolujuuden kohdalla ( $\leq 9,5 \% \pm 1,5 \%$ ). Arvostelukriteereinä on vetolujuus ( $\geq 75$  kN/m molemmissa testisuunnissa). Murtovenymä on mitattu laboratoriossa poikkeavasti verrattuna standardissa SEF-EN ISO 10319 ilmoitettuun, joten murtovenymää ei käytetä arvostelukriteerinä. Tuote täyttää ilmoitetun vetolujuuden konesuunnan osalta, mutta ei konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa.



Taulukko 56. Lujitteen III vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valkoinen solu tarkoittaa, että tuote täyttää asetetut vaatimukset. Keltainen solu tarkoittaa, että saatu tulos poikkeaa ilmoitetusta arvosta, mutta testauslaboratorion mittaukset poikkeavat standardista, joten arvoa ei käytetä tässä tapauksessa arvosteluperusteena. Oranssi solu tarkoittaa poikkeavaa ilmoitetusta arvosta.

<b>Konesuunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	86,55	16,55
2	83,16	14,84
3	85,46	16,27
4	77,78	15,42
5	80,40	15,98
6	80,86	14,70
7	86,08	16,50
8	80,07	15,84
9	81,56	14,99
10	84,78	15,84
<b>Keskiarvo</b>	<b>82,67</b>	<b>15,69</b>

<b>Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	72,88	14,70
2	69,24	14,55
3	72,62	13,83
4	71,46	14,41
5	75,19	15,98
6	68,67	13,83
7	84,38	14,70
8	67,94	14,41
9	64,81	13,39
10	63,47	13,25
<b>Keskiarvo</b>	<b>71,07</b>	<b>14,31</b>

#### 7.1.4 Lujite IV

Taulukossa 57 on esitetty lujitteelle IV tehtyjen vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valmistaja voi ilmoittaa tuotteen venymän joko murtolujuuden tai nimellislajuuden kohdalla. Tässä tapauksessa on ilmoitettu venymä murtolujuuden kohdalla ( $\leq 9,5 \% \pm 1,5 \%$ ). Arvostelukriteereinä on vetolujuus ( $\geq 65$  kN/m molemmissa testisuunnissa). Murtovenymä on mitattu laboratoriossa poikkeavasti verrattuna standardissa SEF-EN ISO 10319 ilmoitettuun, joten murtovenymää ei käytetä arvostelukriteerinä. Tuote ei täytä ilmoitettuja arvoja vetolujuuden osalta. Murtovenymän osalta tuote täyttää ilmoitetut arvot.

Taulukko 57. Lujitteen IV vetolujuus- ja murtovenymätestien tulokset. Valkoinen solu tarkoittaa, että tuote täyttää asetetut vaatimukset. Oranssi solu tarkoittaa poikkeamaa ilmoitetusta arvosta.

<b>Konesuunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	52,12	11,18
2	53,98	10,59
3	53,87	10,89
4	54,99	9,53
5	58,79	10,14
6	50,25	9,68
7	48,66	9,68
8	53,02	11,03
9	52,68	10,14
10	54,93	9,53
<b>Keskiarvo</b>	<b>53,33</b>	<b>10,24</b>

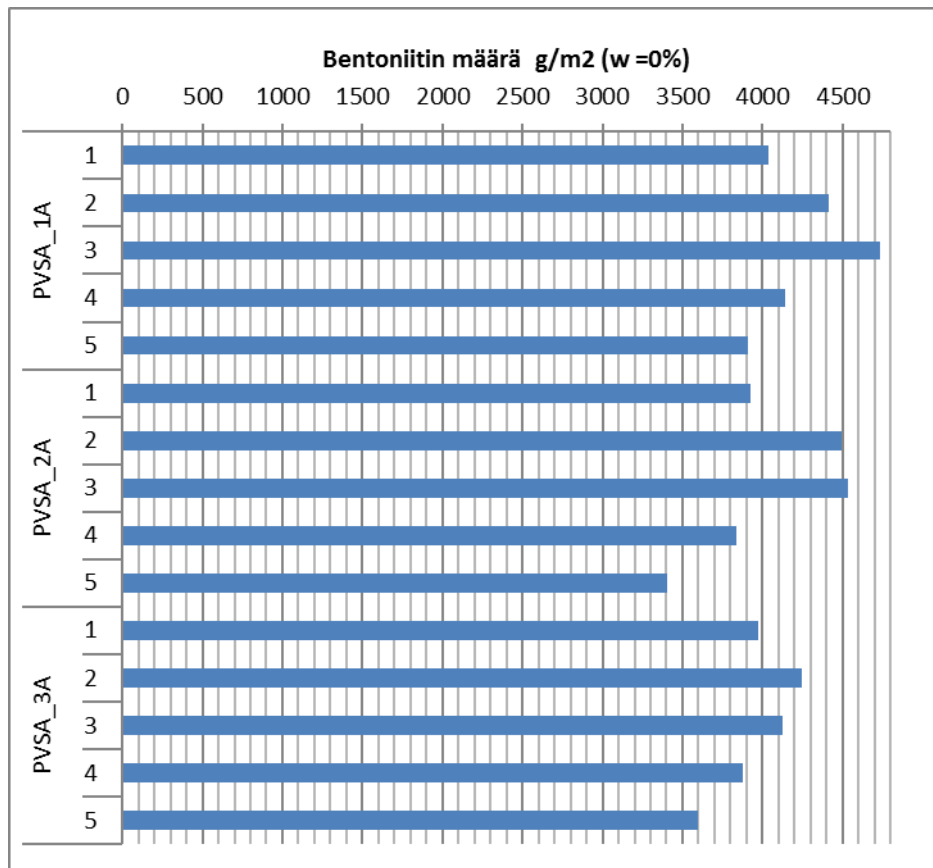
<b>Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta</b>		
<b>Näyte</b>	<b>Vetolujuus (kN/m)</b>	<b>Murtovenymä (%)</b>
1	51,03	10,14
2	50,55	10,44
3	50,45	9,83
4	39,78	8,16
5	44,16	9,38
6	47,66	9,53
7	48,94	9,38
8	46,96	9,08
9	49,48	9,53
10	52,47	9,38
<b>Keskiarvo</b>	<b>48,15</b>	<b>9,48</b>

## 7.2 Bentoniittimatot

### 7.2.1 Kohde PVSA

Kohteessa PVSA käytetystä bentoniittimatosta määritetyt bentoniitin neliöpainot uunikuivana on esitetty taulukossa 58. Kuvassa 78 on esitetty yksittäisten testikappaleiden neliöpainot uunikuivana ilman kankaita eli bentoniitin neliöpaino. Laskennassa on käytetty geotekstiilien neliöpainona 100 g/m<sup>2</sup> ja 200 g/m<sup>2</sup>. Yksittäisten testikappaleiden neliöpainon hajonta oli suurimmillaan 10,5 % (n=5).

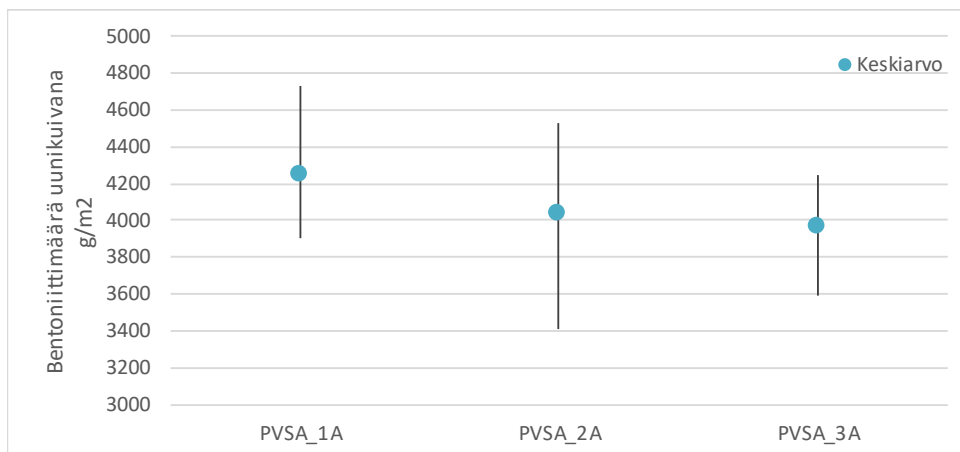
Taulukossa 58 on esitetty tulokset. Tuloksessa on huomioitu geotekstiilien neliöpainon 10 % hajonta. Tutkittujen testikappaleiden minimi- ja maksimitulokset sekä viiden osanäytteen keskiarvo on esitetty kuvassa 79. Bentoniitin keskimääräinen määrä täyttää InfraRYL kappaleessa 14231 esitetyn, työmaatestauksessa saavutettavaksi vaaditun määrän  $\geq 3800$  g/m<sup>2</sup>, vaikka kahdessa yksittäisessä testikappaleessa oli alituksia.



Kuva 78. Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin määrä (pCLAY0%) eli neliöpaino uunikuivana ilman kankaiden painoa yksittäisissä testikappaleissa.

Taulukko 58. Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin neliöpainot. InfraRYLin mukainen vaatimus on vähintään 3800 g/m².

Näyte	Viiden testikappaleen bentoniittimäärän eli neliöpainojen keskiarvo kuivana, ilman kankaita g/m²	Kankaiden (100 g/m² ja 200 g/m²) neliöpainon hajonta g/m²	Bentoniittimäärä kuivana (hajonta huomioitu) g/m²
PVSA_1A	4 248	10 %	4 218
PVSA_2A	4 037		4 007
PVSA_3A	3 962		3 932



Kuva 79. Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin määrä uunikuivana. Kankaiden neliöpainon maksimihajonta 10 % on huomioitu. Pallo kuvaa viiden osanäytteen keskiarvoa ja viivan päät yksittäisten testikappaleiden minimi- ja maksimiarvoja. InfraRYLin mukainen vaatimus on vähintään 3800 g/m².

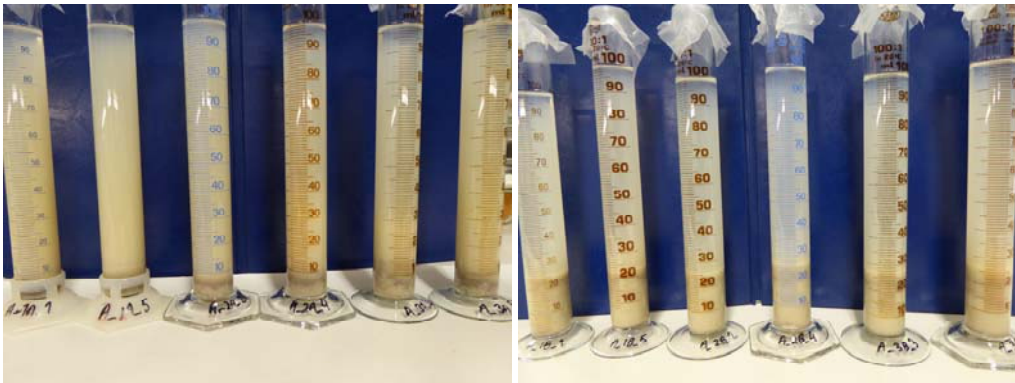
Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen paisuntaindeksit on esitetty taulukossa 59. Bentonittinäytteet koottiin neliöpainon määrittämistä varten otettujen osanäytteiden vierestä irrotetusta bentoniitista (kuva 80). Bentonitti käyttäytyi ensimmäisessä kokeessa kaikilla näytteillä epätavanomaisesti muodostaen selvästi erivärisiä kerroksia mittalasin pohjalle (kuva 81) ja neste jäi sameaksi. Paisuntaindeksi ei täyttänyt ilmoitettua arvoa 24 ml/2g, joten paisumisindeksikoe tehtiin näytteestä B. B-näytteen bentoniitti käyttäytyi kokeessa tavanomaisesti ja tulokset olivat hyväksyttäviä.

Taulukko 59. Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen paisuntaindeksit.

Näyte	Paisuntaindeksi	
	Tulos (ml/2g)	Vaatimus (ml/2g)
PVSA 1A	16	24
PVSA 2A	20	
PVSA 3A	18	
PVSA 1B	28	
PVSA 2B	31	
PVSA 3B	29	



Kuva 80. *Bentoniitin irrotusta vasemmalla ja oikealla kohteista PVSA ja PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniittinäytteitä. Kuvassa vasemmalla PVSA:n näytteitä ja oikealla PSVB:n näytteitä.*



Kuva 81. *Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin paisumis- indeksikoe. Vasemmalla A-sarjan näytteet ja oikealla B-sarjan näytteet.*

## 7.2.2 Kohde PVSB

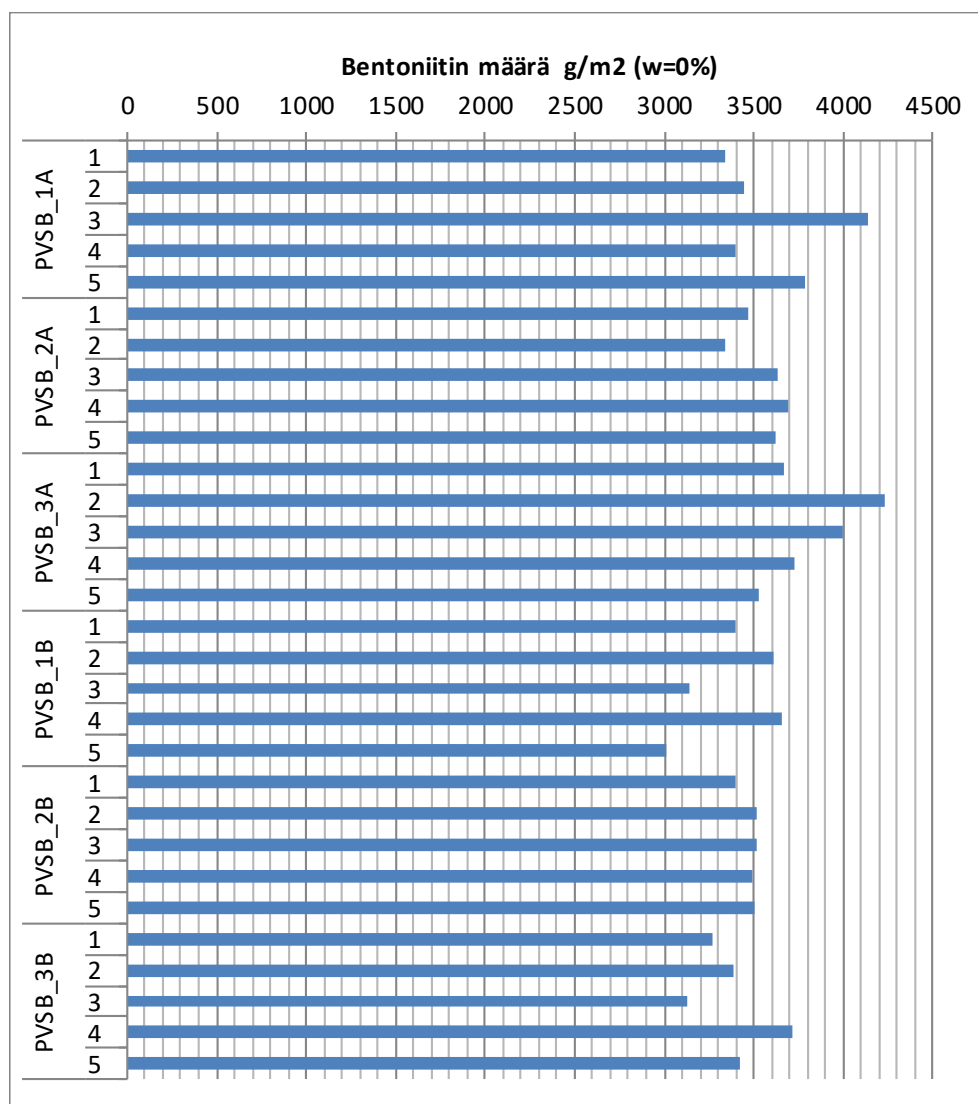
Kohteessa PVSB käytetystä bentoniittimatosta määritetyt bentoniitin neliöpainot on esitetty taulukossa 60. A-näytteiden tuloksista vain yksi täytti InfraRYL:n mukaisen vaatimuksen, joten testattiin myös B-näytteet. B-näytteistä yksikään ei täyttänyt vaatimusta. Kuvassa 82 on esitetty yksittäisten testikappaleiden neliöpainot uunikuivana ilman kankaita eli bentoniitin neliöpaino. Laskennassa on käytetty geotekstiilien neliöpainona 100 g/m<sup>2</sup> ja 200 g/m<sup>2</sup>. Yksittäisten testikappaleiden neliöpainon hajonta oli suurimmillaan 8,8 % (n=5).

Tutkittujen näytteiden minimi- ja maksimitulokset sekä viiden osanäytteen keskiarvo on esitetty kuvassa 83. Bentonitiin määrä ei täytä InfraRYL kappaleessa 14231 esitetyn, työmaatestauksessa saavutettavaksi vaaditun määrää  $\geq 3800$  g/m<sup>2</sup>. Vaadittu määrä alittuu sekä A- että B-näytteissä.

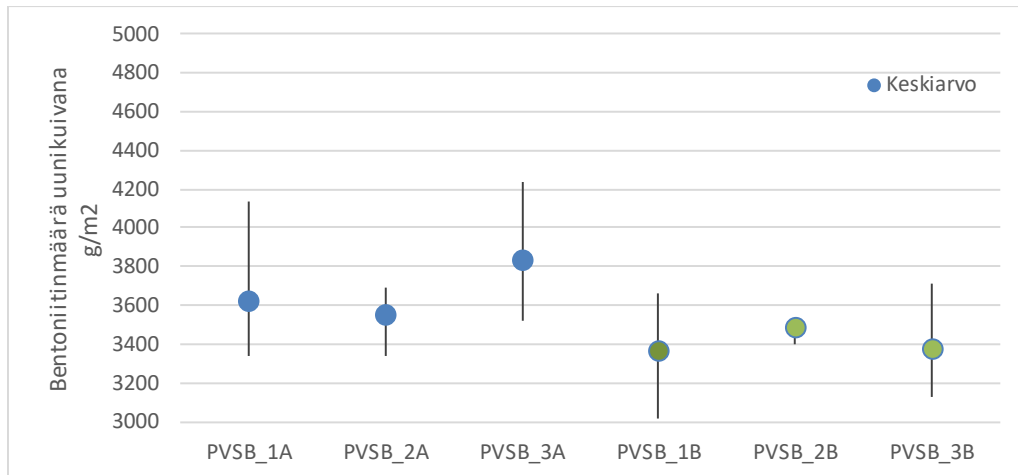


Taulukko 60. Kohteesta PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin neliöpainot. InfraRYL:n mukainen vaatimus on vähintään 3800 g/m<sup>2</sup>.

Näyte	Viiden testikappaleen bentoniittimäärän eli neliöpainojen keskiarvo kuivana, ilman kankaita	Kankaiden neliöpainon hajonta	Bentoniittimäärä kuivana (hajonta huomioitu)
	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
PVSB_1A	3 618	10 %	3 588
PVSB_2A	3 551		3 521
PVSB_3A	3 832		3 802
PVSB_1B	3 366		3 336
PVSB_2B	3 486		3 456
PVSB_3B	3 381		3 351



Kuva 82. Kohteesta PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin määrä (pCLAY0%) eli neliöpaino uunikuivana ilman kankaiden painoa yksittäisissä testikappaleissa.

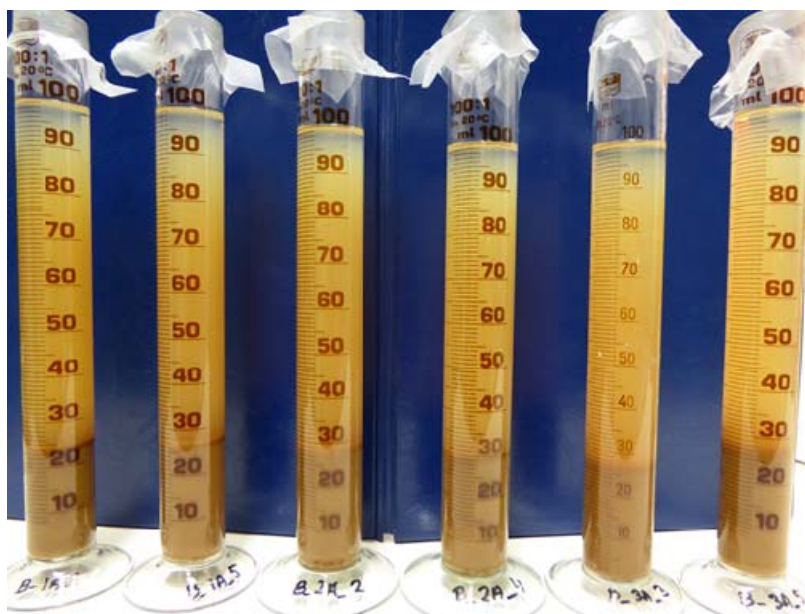


Kuva 83. Kohteesta PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin määrä. Pallo kuvaa viiden osanäytteen keskiarvoa ja viivan päät yksittäisten testikappaleiden minimi- ja maksimiarvoa.

Kohteesta PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin paisuntaindeksi on esitetty taulukossa 61. Kuvassa 84 on esitetty paisuntakoe näytteet kokeen aikana. Paisuntaindeksi täyttää ilmoitetun arvon  $\geq 24$  ml/2g.

Taulukko 61. Kohteesta PVSB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin paisuntaindeksi.

Näyte	Paisuntaindeksi	
	Testitulokset (ml/2g)	Vaatus (ml/2g)
PVSB 1a	28	24
PVSB 2a	31	
PVSB 3a	29	



Kuva 84. Kohteesta PVSA tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin paisumisindeksikoe, A-sarjan näytteet.

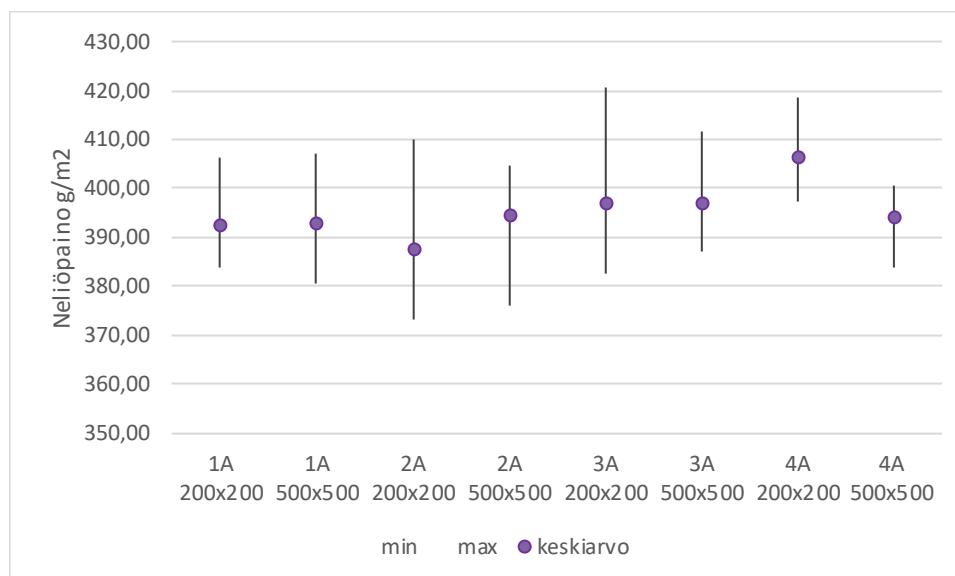
## 7.3 Ohutmuovit

Kohteesta PVSB tutkittiin myös pohjavedensuojusrakenteessa käytetyn muovikalvon kelpoisuus. Suoritustasoilmoituksen mukaan LDPE-kalvo on valmistettu kierrätetystä polyeteenistä. Suoritustasoilmoituksen mukaan tuote soveltuu tuotestandardien EN 13361, 13362, 13491, 13492 ja 13493 mukaisiin käyttökohteisiin. Väylärakenteita koskevaa tuotestandardia SFS-EN 15382 (*Georisteet. Liikenneinfrastruktuurin rakenteissa käytettäviltä georisteiltä vaadittavat ominaisuudet*) ei ole mainittu. Suoritustasoilmoituksessa ei ole CE-merkinnän mukaista säilyvyysilmoitusta.

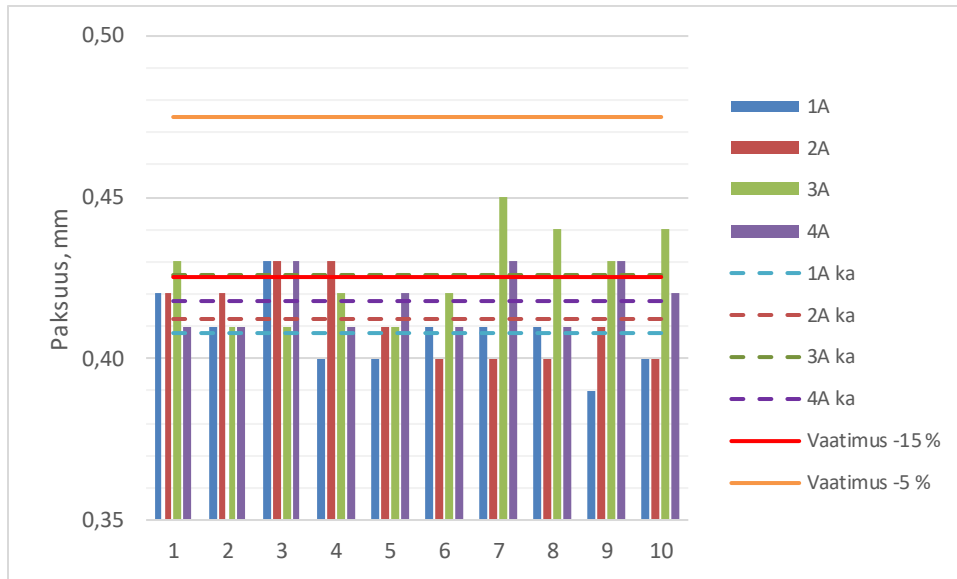
Pohjavedensuojusrakenteissa käytettävien ohutmuovien vaatimuksena on InfraRYLin mukaan 0,5 mm nimellispaksuus. Neliöpainon vaatimuksena on valmistajan ilmoittama keskiarvo ja hajontaluku.

Tutkitun tuotteen suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu nimellispaksuus on 0,5 mm ja neliöpaino 470 g/m<sup>2</sup>. Suoritustasoilmoituksessa on ilmoitettu paksuuden toleranssiksi  $\pm 5\%$  (*area*) ja  $\pm 15\%$  (*point-to-point*; 0,425 - 0,575 mm) ja neliöpainon toleranssiksi  $\pm 6\%$  (441,8 - 498,2 g/m<sup>2</sup>).

Kuvassa 85 on esitetty kymmenestä 200 mm x 200 mm ja viidestä 500 mm x 500 mm testikappaleesta määritetty neliömassan vaihtelualue ja tulosten keskiarvo. Tulokset eivät ole valmistajan ilmoittajan vaihtelualueen sisällä. Kuvassa 86 on laboratorion neliömassan perusteella laskema paksuus. Tuloksista vain yhden rullan 3A tulos on valmistajan ilmoittamalla,  $\pm 15\%$  vaihtelualueella, joka tosin ei ole pinta-alaperustaisen vaan pistemäisen mittauksen vaihtelualue. Tulosten perusteella ohutmuovi ei täytä InfraRYLin neliöpaino- eikä paksuusvaatimuksia.



Kuva 85. Tutkittujen ohutmuovinäytteiden neliöpaino g/m<sup>2</sup> kahden kokoisista testikappaleista määritettynä. Pallo kuvaa osanäytteiden keskiarvoa ja viivan päät minimi- ja maksimiarvoa. Valmistajan ilmoittama nimellisarvo on 470 g/m<sup>2</sup>  $\pm 6\%$ .



Kuva 86. Tutkittujen ohutmuovinäytteiden neliöpainon perusteella määritetyt yksittäisten testikappaleiden paksuudet ja niiden perusteella laskettu keskiarvo sekä suoritustasoilmoituksen mukaiset sallitut hajonnat.

## 8 Yhteenveto

Vuoden 2017 aikana tutkimus jatkui neljättä vuotta. Tutkittavien materiaalien kirjoa laajennettiin raidesepeleihin. Muut tutkitut materiaalit valikoituivat tutkimuksen aiempien vuosien tulosten perusteella. Seuraaviin kappaleisiin on koottu keskeisimmät havainnot materiaaliakohtaisesti.

### 8.1 Päälystekiviainekset

Vuonna 2017 testattiin 14 päälystekiviainesta. Määrä valittiin tarkoituksella mahdollisimman suureksi, koska vuonna 2016 havaittiin laatupuutteita 7/8 testatussa kiviaineksessa. Vuonna 2017 tutkituista kiviaineksista havaittiin kaksi poikkeamaa nastarengaskulutuskestävyydessä. Toinen poikkeamasta oli aivan luokan rajalla, mutta luokkarajan niukasti ylittävä tulos oli saatu myös tuotannonaikaisessa testauksessa. Toisessa tapauksessa laatupuutteet oli havaittu tuotannon aikana ja alettu valmistamaan kahta eri kiviaineserää. Myös asfalttiasemalta haetuissa näytteissä havaittiin laatupoikkeama, joten ei ole täyttä varmuutta, onko asfalttimassassa käytetty vaaditun laadun alittavaa kiviainesta. Näiden päälystyskohteiden lopputuloksen laatu on varmistettu muilla menetelmillä.

Vuonna 2017 tehtyjen tutkimusten perusteella ylläpitourakoiden päälystekiviainesten laatu on siis parantunut merkittävästi verrattuna vuoteen 2016, jolloin poikkeamia havaittiin lähes kaikissa testatuissa kiviaineksissa. Vuoden 2017 osalta näyttää käyneen osin jopa niin, että joissain urakoissa on käytetty yhtä luokkaa parempaa kiviainesta verrattuna urakoiden vaatimuksiin. Asia on kaksitahoinen. On luonnollisesti toivottavaa, että myös urakoitsijat varmistavat käytettävän kiviaineksen laadun ennen päälystämistä. Tätä kautta päälysteiden kestoikä paranee.

Toisaalta pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna ei ole tarkoituksenmukaista, että liian korkealuokkaisia kiviaineita käytetään varmuuden vuoksi. Kaikkein korkealuokkaisimpia kiviaineita on jo nyt tietyillä alueilla hyvin vähän. Jos nämä varannot käytetään loppuun, kiviainesten kuljetusmatkat kasvavat merkittävästi. Tämä lisää päälystämisen kustannuksia ja siitä aiheutuvaa ympäristörasitusta.

Tuotannonaikaisen dokumenttien toimittamisessa oli edelleen haasteita. Tuotannonaikaiset tulokset pitää olla olemassa myös CE-merkintää varten. Asfalttinormeissa on ollut CE-merkintävaatimuksen lisäksi vaatimus yksittäisten tulosten toimittamisesta jo vuodesta 2008.

### 8.2 Soratien kulutuskerrokset

Vuosien 2014 ja 2015 aikana tutkittiin soratien kulutuskerrosmurskeena käytettäviä materiaaleja kasalta otettujen näytteiden avulla. Tutkituista noin 20 eri murskeesta yksikään ei täyttänyt soratien kulutuskerrokselle asetettuja rakeisuusvaatimuksia. Sorastusmurskeita ei välttämättä valmisteta erillisinä tuotteina, vaan usein tuotetaan yleisimmillä laatuksilla 0/16 mm mursketta, joka soveltuu useampiin käyttö-tarkoituksiin. Tällöin myös hienoaineksen määrä jää pieneksi.



Vuonna 2017 päätettiin tutkia sorastuksen lopputulosta. Riippumatta siitä, mikä on käytetyn sorastusmurskeen raekokojakauma, tien pinnassa vallitseva tilanne on ratkaiseva. Kasalta tutkittavat näytteet edustavat vain käytettävän lisämurskeen osuutta sorastuksen lopputuloksesta. Näytteitä haettiin 11 alueurakan alueelta. Yhteensä näytteitä otettiin 21 eri tien pinnasta. Lopputuloksen laatu vaihteli melko paljon. Noin puolessa tutkituista tieosista oltiin kuitenkin saatu tehtyä vaatimusten mukainen lopputulos.

Niissä kohteissa, joissa havaittiin poikkeamia, oli tyypillisesti käytetty vähän hienoa ainesta sisältävää mursketta. Tyypillisesti murske oli myös melko karkearakeista, eli rakeisuuskäyrä oli roikkuva. Näissäkin kohteissa kulutuskerroksen rakeisuus näytti kuitenkin siirtyvän lähelle ohjealueen rakeisuutta. Näin ollen voidaan todeta, että osin kritisoitukin rakeisuusvaatimus on perusteltu, koska tien pintaan sitoutuva materiaali pyrkii rakeisuudeltaan voimassa olevan ohjealueen muotoon.

Myös varsinaisissa sorastustoimenpiteissä vaikutti olevan paljon urakkakohtaista vaihtelua. Muutamien urakoiden alueilla pyrittiin valitsemaan materiaali oikeaksi kohdekohtaisesti tai vaihtoehtoisesti valmistamaan ohjealueen mukaista mursketta. Tyypillisesti näissä urakoissa myös muokkaus- ja tiivistystoimenpiteet hoidettiin asianmukaisesti. Joissain urakoissa sorastus vaikutti lähes suunnittelemattomalta; tien pintaan vain levitettiin mursketta. Urakoiden työtapojen parantamisella voitaisiin saada myös parannettua merkittävästi kulutuskerroksen kestoikää.

Sorastusta koskevissa ohjeissa, vaatimuksissa ja koulutuksessa tulee edelleen korostaa huolellisuutta ja suunnitelmallisuutta työssä sekä myös lopputuloksen laadun varmistamista ja osoittamista kulutuskerroksesta otetuilla näytteillä. Työhön kuuluu aina irrottaa sorastettava pinta riittävän syvältä, pinnan saattaminen oikeaan muotoon, murskeen lisäys ja sekoittaminen (homogenisointi) vanhaan kulutuskerrokseen sekä lopuksi pinnan tasaaminen oikeaan muotoon ja tiivistäminen, myös syyssorastuksessa. Vaaditut laatudokumentit on aina raportoitava sääntillisesti sopimuksen mukaisesti.

Kulutuskerrostutkimuksen yhteydessä testattiin myös paikkatietopohjaista raportointikäytäntöä. Tulosten toimittaminen paikkatietopohjaisena ei merkittävästi lisää näytteenoton työmäärää. Järjestelmän avulla voitaisiin myös kerätä tietoa esim. olemassa olevista kiviainesalueista ja niiltä saatavien kiviainesten laadusta.

## 8.3 Raidesepelit

Raidesepelitä tutkittiin ensimmäisen kerran vuonna 2017. Näytteitä haettiin yhteensä viidestä kohteesta. Kahdessa kohteessa käytetty sepeli oli peräisin samalta kiviainesalueelta. Jos tarkastellaan tuloksia materiaaliakohtaisesti, kahdessa sepelissä neljästä havaittiin muotoarvopuutteita. Sepelin geometrinen muoto vaikuttaa tukikerroksen elinkaareen. Liian pitkulaisia tai litteitä rakeita paljon sisältävä sepeli menettää raekontaktinsa useammin. Tämä aiheuttaa tihenevää tukemistarvetta. Tukemisen yhteydessä pitkulaiset ja litteät rakeet rikkoutuvat helpommin verrattuna särmikkäisiin, kuutiomaisiin rakeisiin verrattuna. Kunnossapitotarpeen ja -toimenpiteiden yhteisvaikutus siis kiihdyttää sepelin hienotumista.

Toinen sepelin raemuotoon liittyvä ongelma havaittiin kaikissa testatuissa sepeleissä. Yli 100 mm pitkien rakeiden osuutta sepelissä ei tällä hetkellä rajoiteta Suomessa, vaikka suositus ominaisuuden vaatimustasosta on esitetty kansallisessa sovelta-misstandardissa SFS 7007. Raidesepelikiviaineksia koskevassa standardissa korkein mahdollinen luokka pitkille rakeille on enintään 12 %. Tutkituissa näytteissä oli 15...25 % yli 100 mm rakeita. Koska myös muotoarvopuutteita havaittiin, olisi syytä pohtia, pitäisikö pitkien rakeiden osuutta rajoittaa.

Yhdessä sepelissä havaittiin myös puute iskunkestävyydessä. Sattumalta kyseisestä sepelistä otettiin näytteitä kahdesta kohteesta. Ylitys ilmoitettuun luokkaan oli mo-lemmissa tapauksissa pieni.

## 8.4 Radan alusrakennekerrosten materiaalit

Radan alusrakennekerrosten materiaaleja tutkittiin kuudesta kohteesta vuonna 2017. Kolmessa kohteessa käytettiin luonnonmateriaaleja ja kolmessa kalliomursketta. Kai-kissa kalliomurskekohteissa havaittiin puutteita tai virheitä materiaalien laatudoku-menteissa. Vastaavia virheitä dokumenteissa on havaittu myös tutkimuksen aiempina vuosina. Radan alusrakenteeseen tarkoitettua mursketta valmistetaan varastoon vain muutamassa paikassa. Muissa infrarakenteissa käytettävät murskeet taas eivät suo-raan täytä ratarakenteen tiukempia laatuvaatimuksia. Tiukemmat vaatimukset johtu-vat 100 vuoden suunnitellusta käyttöiästä. Vaikuttaa siltä, että laatudokumenttien tarkastajien osaaminen ei tältä osin ole riittävällä tasolla ja osaamista pitäisi lisätä.

Kalliomurskekohteissa havaittiin laatupoikkeamia kahdessa kiviaineksessa. Molem-missa tapauksissa materiaali sisälsi liian paljon hienoaainesta ja materiaalin iskunkes-tävyys ei testitulosten perusteella ollut riittävä.

Luonnonmateriaalikohteissa kaksi materiaalia täytti asetetut rakeisuusvaatimukset. Yhdessä tuotteessa oli pieni poikkeama verrattuna materiaalille sallittuun rakeisuus-alueeseen. Poikkeamaa suurempi ongelma oli kuitenkin koko alusrakenne. Testattua hiekka/soramateriaalia käytettiin välikerroksen rakentamiseen ja alapuolelle raken-nettiin uusittua eristyskerrosta puolestaan kalliomurskeesta. Lopputuloksena oli siis yleisten laatuvaatimusten vastainen rakenne.

## 8.5 Geosyntetit

Vuonna 2017 testattiin neljä erityyppistä geolujiteverkkoa. Tuotteista testattiin veto-lujuus ja murtovenymä. Tuotteista kolmessa havaittiin poikkeama verrattuna ilmoitet-tuun nimellismurtolujuuteen. Yhden lujitteen osalta tulokset eivät välttämättä ole luo-tettavia, koska lujitteelle laboratoriossa määritetty murtovenymä oli noin nelinkertai-nen verrattuna ilmoitettuun arvoon. Mitattuja murtovenymiä ei käytetty arvostelu-kriteereinä, koska laboratorion käyttämä venymämittaus poikkesi standardista SFS-EN ISO 10319.

Vuonna 2017 testattiin kaksi bentoniittimattoa. Molemmissa tuotteissa havaittiin A-näytteessä poikkeama. Toisen tuotteen bentoniittimäärä poikkesi vaaditusta, ja toisen tuotteen bentoniitin paisuntaindeksi oli liian alhainen. B-näytteen paisumisindeksi täytti vaatimukset, mutta toisen tuotteen bentoniittimäärä jäi edelleen liian alhaiseksi B-näytteenkin tulosten perusteella.

Vuonna 2017 otettiin ensimmäisen kerran yhdestä kohteesta näytteitä myös pohjavedensuojusrakenteissa käytettävistä ohutkalvoista. Ohutmuovista tutkittu neliöpaino ja sen perusteella laskettu paksuus alittivat selkeästi vaatimukset. Lisäksi suoritustasoilmoituksessa oli pieniä puutteita.

## Lähteet

ASTM D5890 Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners

Damtew T., Vaslestad J., Løvstad D.S., Kynbråten T.A. & Recker C. (2014) Experience on delivery control of nonwoven geotextiles at road construction sites in Norway. Published in proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany 21-25 September 2014; ICG 2014. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., ISBN 9783981395396

Kalliainen, A. & Kuula, P. 2016. Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviainestutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2016. Liikennevirasto, Helsinki 2016.

NorGeoSpec 2012. Nordic system for the certification and specification of geosynthetics and geosynthetic-related products. Saatavissa:  
[http://www.norgeospec.org/data/uploads/dateien/sintef\\_guideline\\_27-09.pdf](http://www.norgeospec.org/data/uploads/dateien/sintef_guideline_27-09.pdf)

SFS-EN 13249:2016 Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Teiden ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet

SFS-EN ISO 10319:en Geosynthetics. Wide-width tensile test (ISO 10319:2015)

SFS-EN ISO 12956:en Geotextiles and geotextile-related products. Determination of the characteristic opening size (ISO 12956:2010)

SFS-EN ISO 13433:en Geosynthetics. Dynamic perforation test (cone drop test) (ISO 13433:2006)

SFS-EN ISO 9864:en. Geosynthetics. Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products (ISO 9864:2005)  
Päällystealan Neuvottelukunta 2011. Asfalttinnormit 2011. Päällystealan neuvottelukunta, Helsinki 2011.

Rakennustieto 2010, InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1. Väylät ja alueet., Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki.

SFS 2014, SFS-EN 1097-6. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 6: Determination of particle density and water absorption. SFS 2012 a, SFS-EN 933-1. Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä.

SFS 2012 b, SFS-EN 933-3. Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Litteysluku.

SFS 2011, SFS-EN 1097-1. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 1: Determination of resistance to wear (micro Deval).

SFS 2010, SFS-EN 1097-2. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät.

SFS 2008, SFS-EN 13242 + A1. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset.

SFS 2005, SFS-EN 1097-9 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 9: Nastarengaskulutuskestävyyden määrittämismenetelmä: Pohjoismainen testi (kuulamylymenetelmä).

SFS 1997, SFS-EN 932-1. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Näytteenottomenetelmät.





ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-585-3  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto